

Б. Г. ИВАНОВ, Ю. И. ЖУРАВИЦКИЙ, В. И. ЛЕВЧЕНКОВ

СВАРКА И РЕЗКА ЧУГУНА



МОСКВА «МАШИНОСТРОЕНИЕ» 1977

6П4.3

И20

УДК 621.79 : 669.13

Рецензент: инж. Т. В. БЕРГ

Иванов Б. Г., Журавицкий Ю. И., Левченков В. И.

И20 Сварка и резка чугуна. М., «Машиностроение», 1977

208 с. с ил.

В книге освещены современные способы исправления дефектов в отливках из серого чугуна. Рассмотрены сварочные материалы для чугуна, методы контроля сварочного процесса и оценки качества исправленных чугунных изделий, обеспечивающие высокое качество сварных соединений и надежность работы исправленных отливок и деталей, поврежденных при эксплуатации.

Книга рассчитана на инженерно-технических работников литейных, механосварочных цехов, ремонтных мастерских, проектных организаций, заводских лабораторий.

И $\frac{31206-097}{038(01)-77}$ 097-77

6П4.3

ИБ № 472

**Борис Георгиевич ИВАНОВ, Юрий Исаакович ЖУРАВИЦКИЙ,
Виктор Иванович ЛЕВЧЕНКОВ**

СВАРКА И РЕЗКА ЧУГУНА

Редактор издательства *Т. Е. Черешнева*
Технический редактор *Ф. П. Мельниченко*
Корректор *А. М. Усачева*
Художник *Е. В. Бекетов*

Сдано в набор 14/IV 1977 г. Подписано к печати 6/VII 1977 г. Т-13036.
Формат 60×90¹/₁₆. Бумага типографская № 1. Усл. печ. л. 13. Уч.-изд. л. 14,7.
Тираж 25 000 экз. Заказ 136. Цена 1 р.

Издательство «Машиностроение», 107885, Москва, Б-78, 1-й Басманный пер., 3

Ленинградская типография № 6 Союзполиграфпрома
при Государственном комитете Совета Министров СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли
193144, Ленинград, С-144, ул. Моисеенко, 10

И $\frac{31206-097}{038(01)-77}$ 097-77

© Издательство «Машиностроение», 1977 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Чугун — широко применяемый конструкционный материал, отличающийся хорошими литейными свойствами и малым коэффициентом линейного расширения, высокой износостойкостью и обрабатываемостью. В чугунных отливках на разных стадиях обработки выявляются различные дефекты. Кроме того, пониженная прочность и высокая хрупкость серых чугунов приводят в отдельных случаях к поломке в процессе эксплуатации изготовленных из них деталей, а это в свою очередь приводит к выходу из строя или к простоям оборудования. Поломки могут быть также вызваны приложением к деталям нагрузок, превышающих расчетные, попаданием в механизмы инородных твердых тел, образованием трещин из-за неравномерного нагрева и т. д.

В большинстве случаев дефекты в чугунных деталях и отливках можно устранить. При правильном выборе способов устранения дефектов и их тщательном выполнении качество восстановленных деталей, как правило, отвечает требованиям эксплуатации.

Для устранения дефектов в чугунных отливках и при ремонте деталей, вышедших из строя, широко применяют сварочные процессы. Приобретают актуальность сварно-литые конструкции, объем изготовления которых будет увеличиваться в десятой пятилетке. Особое место при изготовлении отливок и сварно-литых конструкций занимает воздушно-дуговая поверхностная резка (электрострожка) — процесс, используемый для поверхностной обработки вместо пневмообрубки.

Задачи повышения качества и надежности, выдвигаемые десятой пятилеткой, должны находить свое отражение при выполнении работ, связанных со сваркой и резкой чугуна. В этой области проведены многочисленные исследования, разработаны высокоэффективные способы ручной и механизированной сварки, наплавки чугуна и сварочных материалов улучшенных марок. Разработаны также специальное оборудование и инструмент для механизированной сварки, газопорошковой наплавки, воздушно-дуговой резки и др.

В различных отраслях промышленности используют одни и те же методы сварки, несколько отличающиеся по технологическим приемам и применяемым сварочным материалам. Наиболее широкое применение процессы сварки и резки чугуна находят при исправлении дефектов в отливках до и после механической обработки. Исправление дефектов на поверхностях отливок и изделий различного эксплуатационного назначения не наносит ущерба их качеству. В этом случае сварочные процессы рассматривают как составную часть литейной технологии.

Распыленность сварочного производства на многочисленных предприятиях, зачастую не имеющих специализированных сварочных участков, сварочных материалов и квалифицированных кадров, создает условия, при которых не исключена подмена технологического комплекса кустарными решениями с использованием случайных материалов и средств, не обеспечивающих качества и надежности восстановленных чугунных изделий.

В настоящей книге обобщен многолетний опыт передовых предприятий по применению сварочных процессов при исправлении дефектов чугунных отливок и ремонте чугунных изделий, а также даны рекомендации по организации сварочных участков.

Широкое применение современных методов сварки и резки позволит расширить номенклатуру исправляемых дефектов и повысить качество изготавливаемых и ремонтируемых деталей.

Глава I

Отливки и детали из чугуна

Краткая характеристика чугунов. Чугун — многокомпонентный железоуглеродистый сплав, содержащий более 2,14% С, кремний и некоторое количество марганца, серы и фосфора. В специальные чугуны вводят легирующие добавки: никель, хром, молибден, ванадий и др.

Чугуны способны образовывать эвтектики при затвердевании. В соответствии с диаграммой состояния железо—углерод чугуны могут быть доэвтектическими, эвтектическими и заэвтектическими. Положение чугуна относительно эвтектической точки определяется величиной углеродного эквивалента ($C_s \approx C_{об} + 0,3Si$ где $C_{об}$ и Si — содержание углерода и кремния в %).

Доэвтектический чугун затвердевает с первоначальным выделением из расплава структурно-свободного аустенита. Заэвтектические чугуны затвердевают с выделением первичного графита или цементита. По мере снижения температуры кристаллизуется эвтектика, состав которой и температуры эвтектического превращения зависят от состава чугуна и скорости охлаждения. Ускоренное охлаждение обычно способствует выделению карбидов, а замедленное охлаждение — образованию графита. Кристаллизация графита зависит от наличия зародышей графита, нерастворившихся блоков графита, диффузии атомов углерода и самодиффузии атомов железа.

Дальнейшее снижение температуры чугуна приводит к эвтектидным превращениям аустенита, происходящим в зависимости от скорости охлаждения по стабильной системе (аустенит → феррит + графит) и метастабильной системе (аустенит → феррит + цементит). При повышенной скорости охлаждения превращения аустенита могут завершиться образованием структур высокой твердости. Это же происходит при добавке в чугун различных карбидообразующих элементов. В зависимости от состояния углерода в сплаве различают белые и серые, высокопрочные и ковкие чугуны.

Белые чугуны имеют светло-серый или почти белый в изломе цвет. Это обусловлено тем, что углерод находится в связанном состоянии в виде карбида железа—цементита. Последний обра-

зует эвтектику — ледебурит, представляющую собой смесь цементита и перлита или цементита и аустенита. Он и определяет белый цвет излома или так называемый отбел в сварном соединении. Цементит хрупок и имеет высокую твердость ($HB\ 800$), вследствие чего белые чугуны также отличаются высокой твердостью и хрупкостью, не поддаются механической обработке и поэтому чрезвычайно ограниченно применяются в качестве конструкционного материала. Белые чугуны используют для получения ковких чугунов.

Серые чугуны в изломе имеют серебристый цвет вследствие наличия в них пластинчатых включений графита. Практически в чугунах основное количество углерода присутствует в свободном состоянии в виде графита и лишь 0,6—0,8% находится в связанном состоянии в виде вторичных карбидов в перлите.

Процесс графитизации протекает в жидкой (эвтектические превращения) и твердой (эвтектоидные превращения) фазах. При этом в зависимости от условий и степени графитизации могут получаться чугуны с перлитной, перлитно-ферритной и ферритной основами. Графит — наиболее мягкая и вместе с тем наиболее хрупкая составляющая чугуна. Он пронизывает металлическую основу чугуна и нарушает его сплошность, действуя как внутренний надрез. Вместе с тем графит сообщает чугуну малую чувствительность к внешнему надрезу, придавая тем самым сплаву высокую сопротивляемость знакопеременным нагрузкам. Эти свойства серого чугуна, а также высокие литейные свойства, хорошая обрабатываемость его обычным режущим инструментом и износостойкость определяют в первую очередь широкое применение сплава как важного конструкционного материала.

Высокопрочные чугуны получают при отливке по специальной технологии с применением особых добавок (магния, редкоземельных элементов, мишметалла и др.). Благодаря этому выделяющийся графит приобретает шаровидную форму и включения его равномерно распределяются в металлической матрице. В зависимости от целого ряда факторов (термообработки, химического состава и т. п.) структура матрицы чугуна может быть ферритной, ферритно-перлитной, перлитной, аустенитной или мартенситной. Шаровидная форма графита придает такому чугуну высокие механические свойства. Отливки из высокопрочного чугуна могут быть любой толщины и формы.

Ковкие чугуны нашли применение в различных отраслях промышленности и особенно в автотракторо- и сельхозмашиностроении. Графит этих чугунов имеет форму крупных хлопьев или розеток, более или менее равномерно распределенных в металлической матрице чугуна. Такая форма графита получается в результате специальной термообработки, обеспечивающей хорошие механические свойства чугуна. Дляковки чугунов характерно более низкое содержание углерода по сравнению с серыми и высокопрочными чугунами.

Аустенитно-никелевые чугуны находят применение в химической промышленности, красильных, пищевых, нефтяных, текстильных и тому подобных производствах для изготовления насосов, реакторов, котлов, частей трубопроводов, вентилях и т. д., а иногда взамен деталей из медных сплавов — клапанов, фитингов, печной арматуры и др. Эти чугуны также находят применение в коксовом, газовом, металлургическом и энергетическом производствах для различных деталей, обладающих высокой жаростойкостью и жаропрочностью. В зависимости от назначения химический состав высоколегированных никелевых чугунов колеблется в пределах: 2,75—3,1% С; 1,0—2,5% Si; 0,8—2,3% Mn; 0,15—0,4% P; 0,06—0,12% S; 9—22% Ni; 1,5—4,0% Cr; до 9% Cu.

Высоколегированные хромистые чугуны применяют в основном для особо износостойких цилиндрических втулок, а также деталей, подверженных интенсивному абразивному износу. Они обладают высокой жаростойкостью и коррозионной стойкостью. Химический состав высокохромистых чугунов в зависимости от их назначения колеблется в пределах: 1,8—3,5% С; 0,5—2,5% Si; 0,3—1,0% Mn; 0,5% Ni; 3,5—10% Cr; до 3% Cu; до 3% Mo.

Применение сварки при исправлении дефектов чугунных отливок и ремонта деталей связано с тепловым воздействием на основной металл, поэтому для специалистов-сварщиков важно знать теплофизические свойства чугунов.

Теплофизические свойства чугунов. Плотность чугуна зависит от химического состава, рода чугуна, формы и характера распределения графита, от количественного соотношения структурных составляющих и т. п.

Средние значения плотности (г/см^3) для чугунов: серого 7,25 высокопрочного с шаровидным графитом с перлитной основой — 7,1—7,5 и ферритной основой — 6,9—7,2; ковкого — 7,2—7,6; высоколегированного никелевого — 7,5—7,6; высокохромистого — 7,31—7,76 [5, 10]. Плотность жидкого чугуна с повышением температуры понижается и при температуре плавления составляет $7,1 \pm 0,05 \text{ г/см}^3$. Плотность структурных составляющих чугуна (г/см^3): феррита — 7,87; перлита — 7,8; цементита — 7,66 и графита — 2,3.

Теплоемкость чугуна зависит от структурных составляющих и определяется по правилу смещения. Теплоемкость ($\text{кал/г} \cdot ^\circ\text{C}$) чугунов в интервале температур 0—200° С — 0,11—0,13 до 400° С — 0,12—0,15; до 700° С — 0,167—0,17, а в интервале от 900° С до температуры плавления 0,181—0,19; для жидкого чугуна — $0,23 \pm 0,03$. Объемная теплоемкость для твердого чугуна $\sim 1 \text{ кал/}(\text{см}^3 \cdot ^\circ\text{C})$ для жидкого $\sim 1,5 \text{ кал/}(\text{см}^3 \cdot ^\circ\text{C})$. Теплоемкость (кал/г) чугуна (включая тепловой эффект превращений) в среднем при нагреве до температуры 400° С 54; до 700° С 117; до 800° С 143,2; до 1000° С 193,6.

Теплопроводность чугуна зависит от его химического состава и температуры. При температуре 20° С теплопроводность

[кал/(см·с·°С)] серого чугуна 0,14; с шаровидным графитом 0,08—0,09; ковкого 0,10—0,17; высоколегированного никелевого (аустенитного) 0,06—0,08; высокохромистого 0,05—0,12.

Температуропроводность характеризует скорость распространения температуры при нагревании и охлаждении:

$$a = \lambda / c \gamma \text{ см}^2/\text{с},$$

где λ — коэффициент теплопроводности, кал/см·с·°С; c — удельная теплоемкость, кал/г·°С; γ — плотность, г/см³.

Для приближенной оценки температуропроводность можно принять для твердого чугуна равной теплопроводности, а для жидкого — 0,03 см²/с.

Сварочные свойства чугуна. Способность металлов образовывать неразъемное соединение с заданными свойствами оценивается понятием свариваемость. Свариваемость — изменяемая характеристика и зависит не только от свойств свариваемых металлов (химического состава, структуры и т. д.), но и от способа и режимов сварки, состава присадочных материалов, флюсов и пр.

Протекание физико-химических процессов (диффузия в жидком и твердых состояниях, способность образовывать жидкие и твердые растворы, кристаллизация наплавленного металла), которые приводят к образованию неразъемного соединения, называют физической (принципиальной) свариваемостью. Способностью свариваться обладают все однородные металлы, образующие растворы и смеси эвтектического или неэвтектического состава. Не соединяются сваркой плавлением металлы и сплавы, не обладающие взаимной растворимостью в жидком состоянии и образующие хрупкие химические соединения.

Чугун с точки зрения физической свариваемости относится к группе хорошо свариваемых металлов, так как обладает неограниченной растворимостью основного и присадочного металла в жидком состоянии (за исключением меди и некоторых других металлов), возможностью диффузии в твердом и жидком состояниях и образованием твердых растворов.

Способность металла свариваться еще не определяет возможность получения сварного соединения, отвечающего предъявляемым к нему требованиям (работоспособность, экономичность и т. д.). Металл шва и околошовной зоны обычно по многим показателям заметно отличается от основного металла. Эти отличия, даже при хорошей физической свариваемости, могут приводить к низким свойствам сварного соединения в целом.

Поэтому принято способность основного металла при данной технологии образовывать сварное соединение без нарушения сплошности, искажения форм и снижения его качества характеризовать технологической свариваемостью. Это понятие зависит от состояния технологических процессов, по мере совершенствования которых ранее трудносвариваемые материалы становятся хорошо свариваемыми. Состояние современной сварочной техники

показывает, что все материалы, обладающие физической свариваемостью, могут образовывать удовлетворительные сварные соединения. При этом трудносвариваемые материалы требуют применения более сложной технологии сварки. С точки зрения технологической свариваемости чугуна относится к трудносвариваемым металлам.

Получение углерода в связанном или структурно-свободном состоянии зависит от химического состава чугуна, условий кристаллизации и остывания сплава, а также режима последующей термообработки. Получение серых чугунов требует замедленного охлаждения сплава. По мере повышения скорости охлаждения увеличивается вероятность получения белых чугунов.

Углерод, кремний, алюминий, никель, кобальт, медь способствует графитизации чугунов. Сера, ванадий, хром, молибден, марганец, оказывают обратное действие, т. е. препятствуют распаду карбидов железа и выделению свободного углерода.

Углерод снижает температуру плавления сплава и повышает его жидкотекучесть. С повышением содержания углерода в сплаве увеличивается количество и размеры графитовых включений, что снижает вероятность отбела, но в то же время ухудшает механические свойства чугуна.

Кремний уменьшает растворимость углерода в железе, так как межатомные силы связи с железом у него больше, чем у углерода. В то же время кремний является наиболее сильным графитизирующим элементом. Это действие особенно заметно при содержании его $\sim 3\%$, дальнейшее увеличение сказывается менее заметно, поэтому в присадочных прутках для создания в шве благоприятных условий графитизации содержание кремния составляет несколько более 3% . Большое влияние на структуру чугуна оказывает суммарное соотношение концентрации углерода и кремния. При сварке применяют присадочные прутки, как правило, эвтектического состава.

Марганец стабилизирует карбиды, т. е. способствует отбелу чугуна. Однако это его свойство проявляется наиболее сильно при содержании в сплаве более $1,5\%$ Mn. При меньших количествах он оказывает даже положительное влияние на процесс графитизации и, кроме того, устраняет отрицательное влияние серы, образуя с ней сернистый марганец (MnS), плохо растворимый в жидком и твердом чугуне и сравнительно легко удаляемый из металла в шлак.

Сера в чугунах является вредной примесью. Она не только вызывает отбел чугуна, но образуя по границам зерен сравнительно легкоплавкую эвтектику (Fe—FeS), способствует образованию горячих трещин. Верхний предел содержания серы в чугунах $0,10\%$.

Фосфор в сплаве увеличивает жидкотекучесть и понижает температуру затвердевания чугуна, способствует его графитизации. Вместе с тем фосфор увеличивает склонность чугуна к образова-

нию трещин. Содержание его в чугунах обычно не превышает 0,2%.

Повышенное содержание хрома, молибдена и других элементов, увеличивающих прокаливаемость металла, приводит к повышению твердости в зоне термического влияния.

Чугунам свойственна склонность к образованию в сварном соединении структур отбела и закалки, трещин и пор. Структура наплавленного металла определяется условиями и кинетикой его кристаллизации, которая в значительной мере зависит от условий сварки: скорости охлаждения, состояния жидкого металла и химического состава. Достаточно хорошо изучена роль этих факторов при изготовлении отливок. При сварке, когда получение жидкого металла протекает в совершенно иных условиях (скорости охлаждения сварочной ванны и наплавленного металла весьма велики), данные вопросы требуют специального рассмотрения.

При всех способах сварки плавлением для локального расплавления металла применяются мощные источники тепловой энергии, позволяющие вводить в ограниченный объем большое количество теплоты, создавать значительное местное повышение температуры. Это приводит, как правило, к значительному перегреву расплавляемого при сварке металла.

Сварочная ванна образуется путем смешивания наплавленного металла с расплавляемым основным. При дуговой сварке температура капель достигает 2100—2500° С при средней температуре ванны около 2000° С [13]. Таким образом, при сварке перегрев металла значительный. В литейной практике считается, что чугун значительно перегрет, когда его температура достигает 1500°С. Перегрев чугуна изменяет его химический состав (в том числе содержание газов), оказывает влияние на вязкость, поверхностное натяжение, переохлаждение при кристаллизации.

Состояние жидкого чугуна обуславливается не только нагревом, но и выдержкой при этой температуре, модифицированием и другими методами обработки в процессе кристаллизации, исходными шихтовыми материалами и режимом плавки (сварки). Модифицирование, продувка газами и другие методы обработки жидкого чугуна воздействуют на степень графитизации, форму, размеры и распределение графита. Подготовка шихтовых материалов также оказывает влияние на процессы кристаллизации и структурообразование чугуна. Высокий перегрев металла, вызываемый процессом горения дуги; выдержка жидкой ванны, регулируемая температурой предварительного подогрева и техникой сварки (скорость перемещения электрода, сварка валиками или ванным способом и т. п.); подготовка сварочных материалов и введение в состав покрытия электрода, в порошковую проволоку или керамический стержень модифицирующих добавок — все эти вопросы требуют глубокого изучения и учета при разработке технологии сварки.

Интересно также сопоставить значения скоростей охлаждения чугуна при литье и сварке. Так, по данным И. Н. Богачева, Н. Г. Гиршовича, К. П. Ващенко и др., скорость охлаждения чугунной отливки в зависимости от ее массы, размеров и толщины стенок в интервале температур $1200-1100^{\circ}\text{C}$ колеблется в пределах $0,1-0,7^{\circ}\text{C}/\text{с}$.

В процессе сварки эти скорости значительно выше. Так, исследования, выполненные Ю. А. Стеренбогеным, В. Ф. Хорунновым и Ю. Я. Грециком, показали, что при наплавке порошковой проволокой отдельного валика на пластину толщиной 100 мм скорость охлаждения в интервале $1200-1100^{\circ}\text{C}$ составляет более $30^{\circ}\text{C}/\text{с}$, на пластину толщиной 15 мм — $\sim 25^{\circ}\text{C}/\text{с}$. Предварительный подогрев пластин до температуры 300°C снижает скорость охлаждения до $10^{\circ}\text{C}/\text{с}$, 600°C — до $6^{\circ}\text{C}/\text{с}$.

Эти сведения относятся к случаю охлаждения отдельных валиков. На практике часто приходится сталкиваться с необходимостью наплавки значительных объемов чугуна на массивное изделие. При этом скорости охлаждения сварочной ванны и наплавленного металла существенно замедляются. Например, при заварке дефектов чугунных отливок ванным способом наплавленный металл в интервале температур $1200-1100^{\circ}\text{C}$ остывает со скоростью $4-8^{\circ}\text{C}/\text{с}$ при сварке без предварительного подогрева изделия; $2,5-5,5^{\circ}\text{C}/\text{с}$ при подогреве до 300°C ; $0,6-2^{\circ}\text{C}/\text{с}$ при подогреве до 650°C .

Приведенные данные подтверждают значительно более высокие скорости охлаждения при сварке чугуна по сравнению с литьем поэтому для получения наплавленного металла без отбела необходимо прибегать к специальным технологическим мерам, например, применять предварительный подогрев изделия, выполнять сварку на повышенных токах, а также варьировать химический состав компонентов в присадочных материалах.

Большое влияние на процессы кристаллизации и структурообразование оказывает также химический состав литейного чугуна и сварочных материалов, обеспечивающих в наплавленном металле чугуна. Изучив состояние жидкого металла и определив интервал скоростей охлаждения, можно путем изменения химического состава сварочного материала (присадочного прутка, электрода, порошковой проволоки, керамического стержня) получать необходимую конечную структуру чугуна.

Образование хрупких структур в металле шва и околошовной зоне понижает пластичность чугуна, а следовательно, и его стойкость против образования трещин. Трещины в сварном соединении могут возникать от неравномерного нагрева и охлаждения деталей, литейной усадки металла шва, жесткости свариваемого изделия. Они могут возникать не только в шве и околошовной зоне, но и в других участках детали, в которых вследствие дополнительной деформации, вызываемой сваркой или локальным предварительным подогревом, возникают напряжения, превышающие

предел прочности чугуна. Наиболее благоприятные условия для образования трещин в околошовной зоне создаются при сварке менее прочных чугунов с крупными и многочисленными графитовыми выделениями в виде пластинок. Менее склонны к образованию трещин мелкозернистые перлитные чугуны с мелкими графитовыми включениями, а также чугуны, легированные никелем, титаном или молибденом, что связано с измельчением структуры металлической основы сплава и графитовых включений.

Трещины, образующиеся при сварке чугуна, можно отнести к холодным трещинам, так как верхняя граница температурного интервала появления трещин не превышает 250—400° С. Опасность образования трещин значительно увеличивается при наличии цементита на границе сплавления и мартенсита, увеличивающих напряжения. Наиболее опасны напряжения, возникающие от усадки металла шва и околошовной зоны, характеризующиеся в наибольшей степени величиной свободной линейной усадки шва. Чем больше предусадочное расширение и меньше доперлитная усадка чугуна, тем меньше склонность к образованию трещин, а это достигается в основном графитизацией, поэтому в состав присадочных материалов вводят не только углеродосодержащие компоненты, но и вещества, способствующие графитизации. Поры образуют не успевшие выделиться из жидкого металла газы: водород, азот, водяной пар, окись углерода. Особенно опасны водород и азот вследствие скачкообразного изменения их растворимости в расплавленном металле. В расплавленном состоянии металл сварочной ванны может растворить значительное количество водорода и азота. По мере остывания металла растворимость газов снижается и резкое скачкообразное снижение растворимости отмечается в момент кристаллизации. Образующиеся при этом газовые пузырьки могут не полностью выйти на поверхность сварочной ванны, задержаться между кристаллитами и вызвать пористость в металле шва.

Пористость, вызванная окисью углерода, образуется при газовой сварке или при холодной дуговой сварке, когда в присадочных прутках или покрытиях электродов избыток углерода приводит к заэвтектическому его содержанию в наплавленном металле. При высоких температурах сварочная ванна спокойна, но при охлаждении избыточный углерод выделяется, образуя графитную спель и окись углерода.

Наибольшую опасность представляет водород в атомарном состоянии, значительное количество которого постоянно имеется в газовом пламени и в газах сварочной дуги. Однако присутствие только атомарного водорода еще не приводит к возникновению пористости. Необходимым условием возникновения пористости в сварочной ванне является развитая поверхность плохо смачиваемых дисперсных неметаллических включений и прежде всего алюмосиликатов, наличие которых часто связано с введением

в чугун при его выплавке некоторых модификаторов (ферросилиция, силикохрома и др.).

Четко выраженных и общепринятых показателей свариваемости чугуна пока нет. Однако известно, что лучше свариваются чугуны, имеющие мелкозернистую структуру и светло-серый излом, хуже — чугуны с крупнокристаллическим изломом, имеющие крупные включения графита. Плохо свариваются чугуны с черным изломом. Это связано с тем, что наличие на поверхности чугуна большого количества графита ухудшает условия ее смачиваемости жидким металлом. Плохо сваривается также металл деталей, бывших в эксплуатации.

Классификация поверхностей и отдельных частей отливок и деталей. Различные отрасли промышленности выпускают чугунные отливки и изготавливают детали разнообразного эксплуатационного назначения. В процессе их изготовления, механической обработки, сборки и эксплуатации могут быть выявлены дефекты различного характера и размеров. В результате отливки и детали условно (до проведения восстановительного ремонта) или окончательно бракуют. Для классификации отливок и деталей, подвергающихся исправлению, с учетом многообразия их номенклатуры, а также конструктивных и эксплуатационных особенностей установлены признаки, обобщающие характерные особенности изделий и их отдельных частей.

Таковыми признаками могут быть: 1) масса (мелкие до 100 кг, средние 100—1000 кг, крупные 1000—5000 кг, тяжелые — свыше 5000 кг); 2) габаритные размеры, конфигурация и сложность конструкции; 3) толщина стенок (тонкостенные, толстостенные или совмещающие в себе те и другие); эти признаки не имеют единообразной оценки, например, применительно к автодеталям (рубашка блока цилиндров, крышки); тонкими считают стенки толщиной 4—6 мм, в машино- и станкостроении — 6—8 мм. По мере увеличения толщины стенок до 12—30 мм и отдельных частей до 50 мм и более (опорные, крепежные, направляющие) детали считают толстостенными. Средние значения толщин (8—12 мм) считают оптимальными и не выделяют в отдельную группу. Вместе с тем тонкие, толстые стенки и части изделий, отличающиеся по условиям теплообмена при сварке и требующие специальных технологических решений при исправлении дефектов, выделяют в отдельные группы; 4) обрабатываемость поверхностей: часть поверхностей отливок не подвергается механической обработке — необрабатываемые поверхности; другая же часть подвергается механической обработке и в зависимости от эксплуатационного назначения поверхности обработка выполняется с различной степенью точности (обрабатываемые); в практической работе приходится считаться с необходимостью исправления дефектов, выявленных на различных стадиях механической обработки отливок (обработанные). По мере уменьшения припусков на обработку и особенно на финишных операциях создаются спе-

цифические трудности при исправлении. Для их преодоления созданы специальные методики низкотемпературных процессов; 5) эксплуатационное назначение: стенки и отдельные части чугунных изделий, а также их поверхности могут работать в условиях трения и износа или сопрягаться в неподвижные соединения, служить резервуарами рабочих жидкостей под давлением и без давления, работать в условиях знакопеременных нагрузок и температур, быть опорными, придавать конструкции жесткость, товарный вид изделию и др.

В табл. 1 дана обобщенная классификация поверхностей и частей отливок с указанием требований к наплавленному металлу, получение которого должен обеспечить выбранный способ исправления.

Т а б л и ц а 1. Классификация поверхностей отливок и деталей по эксплуатационным признакам

Эксплуатационное назначение поверхностей	Требования, предъявляемые к наплавленному металлу
Обрабатываемые, работающие в условиях трения, износа, динамических нагрузок, давления (скольжения, качения, перемещения, опорные)	Чугун с заданными свойствами
Обрабатываемые, работающие в условиях неподвижных соединений: кратковременные соединения (крепёжные поверхности столов, планшайб, металлорежущих станков, притирочных, разметочных плит и т. п.) долговременные разъёмные соединения (разъёмные для профилактического или контрольного ремонта)	То же Чугун или не чугун, поддающийся механической обработке
Необрабатываемые общего назначения: придающие жесткость и товарный вид работающие в условиях контакта с рабочими жидкими средами (эмульсия, масло, вода)	Не чугун или чугун То же

Проведенная классификация справедлива также для обработанных отливок и деталей, бывших в эксплуатации.

Дефекты в отливках и деталях. Виды дефектов в чугунных отливках определяются действующими стандартами.

ГОСТ 19200—73 устанавливает терминологию и классификацию дефектов в отливках из серого чугуна в зависимости от внешнего вида дефекта и результатов проверки и испытания отливок.

Отдел технического контроля, проверяя качество отливок, подразделяет их на три группы: годные, с исправимым браком, с окончательным браком. Исправимый и окончательный брак, в свою очередь, делятся на обнаруженный в литейном цехе (внутренний брак) и обнаруженный в механических цехах в процессе механической обработки (внешний брак). Внешний брак состав-

ляет обычно $\frac{1}{3}$ общего брака и приносит большие материальные потери, так как к стоимости отливок прибавляются затраты, связанные с механической обработкой, транспортировкой деталей и исправлением дефектов. Еще более значительные материальные потери приносит порча деталей в процессе эксплуатации.

Дефекты в отливках и деталях в основной массе могут быть исправлены применением различных способов сварки. При этом установившийся порядок приемки годных отливок полностью распространяется на исправленные отливки. Дефекты могут быть:

несквозные (раковины: газовые, усадочные, шлаковые, песчаные, корольки, ужимины, недоливы). Несквозные дефекты обычно исправляют наплавкой способами горячей, низкотемпературной, холодной сварки и пайко-сварки, выбор которых зависит от ряда факторов. Несквозные дефекты могут располагаться на поверхностях обрабатываемых, обработанных и необрабатываемых, а также в различных местах поверхностей, выходить на край стенки, быть в угловой или в средней части, что существенно влияет на технологический процесс исправления. Размеры дефектов различны, условно приняты четыре размерные группы (по площади наплавленного металла): небольших размеров — до 12 см^2 , средних размеров — до 50 см^2 , крупных размеров — до 120 см^2 , очень крупных размеров — свыше 120 см^2 ;

сквозные: горячие и холодные трещины, спай, механические повреждения. Сквозные дефекты нарушают прочность конструкции и сплошность металла; исправлять можно холодной сваркой специальными электродами или горячей сваркой. Сквозные дефекты в виде трещин и спаев могут быть расположены на стенках различной толщины: в жестком контуре, когда сварочные напряжения не могут компенсироваться за счет перемещения свариваемых частей; в нежестком контуре, когда сварочные напряжения частично могут компенсироваться за счет перемещения свариваемых частей; иметь выход на край стенки или не иметь выхода; быть небольшой (50—250 мм) или значительной (250—600 мм) протяженности;

по несплошности металла, создающие течь в отливке детали (рыхлость и пористость, нерасплавившиеся жеребейки), исправляемые холодной и горячей сваркой, а также пропиткой уплотнителями;

поверхностные (пригар, заливы, наросты, залитые окна), нарушающие товарный вид отливки, их устраняют воздушно-дуговой поверхностной резкой (электрострожкой), а также пневмообрубкой и заточкой отливок шлифовальными машинками в обрубных отделениях;

по несоответствию размеров и конфигурации или массы отливок чертежам или техническим условиям (возможность их исправления согласуется с заказчиком);

устраняемые термообработкой (отбел чугунных отливок, коробление) в печах, горнах, горелками;

Таблица 2. Классификация дефектов отливок по характеру и размерам

Вид дефекта	Расположение дефекта	Размер дефекта
Несквозные (раковины, ужимины, перекосы): небольшой площади большой площади	— —	До 12 см ² До 30—120 см ²
Сквозные (трещины, спай, отбитые части): небольшой протяженности большой протяженности	В жестком контуре В нежестком контуре	До 50 мм До 250 мм
	В жестком контуре В нежестком контуре	250—600 мм Свыше 600 мм и имеющие двусторонний выход
Сквозные раковины: небольшой площади большой площади	В резервуарах: без давления с давлением	До 20 см ² До 20 см ²
	В резервуарах: без давления с давлением	200—600 см ² 20—100 см ²
Непровар жеребеek: небольшое количество большое количество	В резервуарах: без давления с давлением	3 шт. на 1 м ² 1 шт. на 1 м ²
	В резервуарах: без давления с давлением	6 шт. на 1 м ² 2 шт. на 1 м ²
Пористость: местная общая	В резервуарах: без давления с давлением	До 100 см ² на 1 м ² До 20 см ² на 1 м ²
	В резервуарах: без давления с давлением	Свыше 100 см ² на 1 м ² —

неисправимые (несоответствие металла отливок стандартам или техническим условиям: по химическому составу; по физико-механическим свойствам).

Дефекты, не подлежащие исправлению из числа рассматриваемых видов дефектов, исключаются.

Приведенная классификация дефектов (табл. 2) в одинаковой мере может быть распространена на детали, поврежденные при эксплуатации. Однако характеристику дефектов в ремонтных работах следует расширить, так как повреждения могут иметь место на поверхностях стенок, работающих в условиях воздействия потока газов, пара, масла, жидкостей и др., неблагоприятно действующих на структуру металла; свариваемость металла при этом ухудшается, такими могут оказаться повреждения рабочих поверхностей деталей, вмятины от ударов, изменение первоначальных размеров вследствие износа от истирания; повреждения, связанные с разрушениями деталей вследствие образования изломов, трещин, отколов и т. п.

Глава II

Способы сварки чугуна

Главные затруднения, возникающие при исправлении дефектов чугунных отливок, определяемые природными свойствами чугуна: склонность к образованию твердых закаленных прослоек в зоне сплавления и прилегающих слоях металла; низкая пластичность чугуна (внутренние напряжения, возникающие в процессе сварки в чугунном изделии, и неспособность чугуна пластически деформироваться под их воздействием часто приводят к образованию трещин); резкий переход твердого состояния в жидкое и наоборот, минуя пластическое состояние. Существенные затруднения создаются многообразием марок чугунов, массы отливок и их конструктивных особенностей.

В силу причин, обусловленных свойствами чугунов, при сварке приходится считаться с конструктивными особенностями изделий, эксплуатационным назначением поверхностей и отдельных частей отливок и деталей, а также стадией механической обработки, после которой выявлен дефект. На выбор метода сварки влияет характер, размер и расположение дефекта на изделии.

Сварочная техника располагает многочисленными способами сварки и пайко-сварки чугуна, отличающимися по технологическим признакам, качественным характеристикам наплавленного металла и сварного соединения в целом.

Технологические процессы исправления дефектов на современном уровне развития сварки чугуна предусматривают возможность выполнения сварочных операций с общим или частичным предварительным нагревом изделий до температуры 600—650° С

(горячая сварка) и получением наплавленного металла в виде чугуна; с небольшим нагревом до температуры 150—400° С или в необходимых случаях без предварительного нагрева (холодная сварка) и с получением наплавленного металла — не чугуна — в виде сплавов, поддающихся механической обработке резанием или не обладающих такими свойствами. Сварочные и наплавочные процессы можно выполнять с расплавлением основного металла (сварка) или без расплавления основного металла (низкотемпературная пайко-сварка), отдельными валиками или с образованием ванны большого объема, вручную или механизированными способами. Технологические процессы исправления дефектов не исключают возможности применения несварочных способов.

Все способы сварки чугуна по свойствам наплавленного металла можно разбить на две группы: способы, предназначенные для получения наплавленного металла в виде чугуна с заданными свойствами (ферритно-перлитный, перлитный, высокопрочный с шаровидным графитом и др.), что достигается применением соответствующих сварочных материалов; способы, предназначенные для получения наплавленного металла — не чугуна, к которому предъявляются требования обеспечить обрабатываемость резанием (сплавы с высоким содержанием никеля, меди, высоколегированной стали и др.) или если таких требований не предъявляется (углеродистая сталь). К ним следует отнести также несварочные способы исправления дефектов. Существует ряд способов, применяемых в специальных случаях: контактно-порошковая и электрошлаковая наплавка, наплавка ленточным электродом, пайка цинковым сплавом при температуре 350° С, пайка с химическим омеднением при температуре 200° С и др.

Неотъемлемую часть технологии сварки, пайко-сварки, пайки составляют сварочные материалы: электроды, присадочные прутки, флюсы. Способы сварки и сварочные материалы должны обеспечивать высокое качество сварного соединения и надежность работы восстановленных чугуновых изделий. Путем подбора соответствующих присадочных материалов и процесса сварки можно получать наплавленный металл в виде чугуна с заданными свойствами (перлитно-ферритный, перлитный, высокопрочный и др.), сплавов с высоким содержанием меди, никеля, высоколегированной стали, углеродистой стали и т. д.

В оценке значимости тех или иных способов сварки чугуна для получения высоких показателей качества, надежности и экономической эффективности существенное значение имеет технологичность применяемых способов и материалов. Технологичность выявляется обычно в сопоставлении технологических особенностей процесса сварки (наплавки) и показателей сварного соединения с техническими требованиями к качеству исправляемых поверхностей отливок.

Например, применительно к обрабатываемым поверхностям, когда наплавленный металл должен быть чугуном, применяют

горячие способы сварки. Лучшими показателями технологичности будут обладать при исправлении дефектов небольших размеров — газовая сварка, обеспечивающая тепловые условия плавления и затвердевания металла, необходимые для образования структуры серого чугуна; при исправлении дефектов крупных размеров — дуговая сварка с использованием высоких значений тока (образующаяся ванна жидкого металла большого объема прогревает прилегающие слои основного металла и затвердевает без образования отбеленных прослоек); при исправлении дефектов средних размеров лучших результатов можно достигнуть, применив механизированную сварку порошковой проволокой с использованием керамических стержней. При исправлении дефектов на механически обработанных поверхностях более высокой технологичностью обладают низкотемпературные процессы пайко-сварки, газопорошковой наплавки и холодной дуговой сварки специальными электродами. Толстопокрывые электроды создают условия более глубокого проплавления и местного нагрева основного металла, что снижает технологичность.

Непрерывное совершенствование способов сварки чугуна, повышение показателей технологичности способов при исправлении дефектов различных групп позволило улучшить качество исправления дефектов отливок и деталей и расширить номенклатуру исправимых дефектов, тем самым сократить материальные и трудовые затраты, возникающие от брака деталей.

Существенный вклад в создание новых методов сварки и сварочных материалов для чугуна внесли завод «Станколит», ВНИИЛИТМАШ, ИЭС им. Е. О. Патона, ВНИИАВТОГЕНМАШ, ЦНИИТМАШ, Опытный сварочный завод, ВНИИТС и др.

Низкотемпературные процессы пайко-сварки без расплавления основного металла осуществляют чугуном, латунными припоями (типа ЛОМНА), порошковыми наплавочными сплавами (типа НПЧ), методом газопорошковой наплавки и др. Эти способы позволяют исправлять дефекты на обработанных поверхностях деталей, в том числе вскрывшихся на финишных операциях механической обработки.

Горячая дуговая механизированная сварка чугуна порошковой проволокой на однопроволочных и трехпроволочных специализированных полуавтоматах в значительной мере заменила процесс ручной горячей дуговой сварки чугунами электродами. Полуавтоматическая сварка порошковой проволокой или проволокой сплошного сечения с присадкой керамических стержней разработана в содружестве ЦНИИТМАШа и завода «Станколит».

Горячая газовая сварка чугуна природным газом с использованием однопламенных мундштуков кумулятивного действия и многопламенных сетчатых мундштуков позволила заменить ацетиленовую сварку.

Холодные процессы сварки чугуна электродами на основе железа, никеля, меди и их сплавов, в том числе тонкими

Т а б л и ц а 3. Классификация способов по технологическим и качественным признакам

Способы сварки	Характеристика дефекта	Характеристика наплавленного металла и соединения
----------------	------------------------	---

Наплавленный металл—чугун с заданными свойствами

Газовая сварка

Горячая чугуной присадкой	Различные дефекты небольших и средних размеров на обрабатываемых, обработанных и ответственных необрабатываемых поверхностях различного эксплуатационного назначения	Хорошая обрабатываемость и плотность, близкое совпадение с основным по микроструктуре, твердости, прочностным показателям и оттенку цвета
Низкотемпературная пайко-сварка с чугунным присадочным прутком	Несквозные дефекты небольших размеров на обработанных рабочих поверхностях	То же

Дуговая сварка ваннным способом

Ручная чугуными электродами Механизированная порошковой проволокой	Различные дефекты крупных и очень крупных размеров на обрабатываемых, обработанных и ответственных необрабатываемых поверхностях	Хорошая обрабатываемость и плотность, близкое совпадение с основным по микроструктуре, твердости, прочностным показателям и оттенку цвета
Механизированная, порошковой проволокой с присадкой керамического стержня	Различные дефекты небольших и средних размеров на обрабатываемых поверхностях, не подвергающихся поверхностной закалке	То же

Наплавленный металл — не чугун, к которому предъявляются условия обрабатываемости резанием

Холодная дуговая сварка наплавкой валиками

Ручная электродами на медно-никелевой основе	Несквозные дефекты небольших и средних размеров на обрабатываемых и обработанных поверхностях. В отдельных случаях сквозные дефекты небольшой протяженности	Хорошая обрабатываемость, плотность и прочность
Ручная электродами на железоникелевой основе	Различные дефекты небольших и средних размеров на различных поверхностях отливок и деталей	Хорошая обрабатываемость, плотность и прочность. Цвет совпадает с цветом основного металла

Способы сварки	Характеристика дефекта	Характеристика наплавленного металла и соединения
Ручная электродами на основе низкоуглеродистой стали со специальным покрытием Ручная электродами на медно-стальной основе	Несквозные дефекты небольших размеров на обработанных поверхностях Сквозные дефекты на необрабатываемых поверхностях отливок и стенках резервуаров	Твердость и цвет совпадают с твердостью и цветом основного металла Высокая прочность и плотность. Обрабатываемость затруднена. Отличается по цвету
Механизированная тонкими проволоками: на никелевой основе на медной основе	Переходные слои при многослойном заплавлении дефектов на обработанных поверхностях. Различные дефекты на тонких стенках деталей Несплошность металла по жеребейкам, сработка, отверстиям. Переходные слои при многослойной наплавке, сквозные дефекты на тонких стенках деталей	Минимальное проплавление основного металла. Хорошая обрабатываемость Минимальное проплавление основного металла. Хорошая плотность и прочность

Газовая низкотемпературная (без расплавления основного металла) пайко-сварка

Медносплавными присадочными материалами типа латуни методом пайко-сварки	Несквозные дефекты небольших размеров на обработанных поверхностях	Плотный, имеет стабильные показатели твердости <i>НВ 170—190</i>
Самофлюсующимися порошковыми сплавами типа НПЧ методом газопорошковой наплавки	Несквозные дефекты небольших и средних размеров, выявленные на финишных операциях механической обработки отливок. Выработка, вмятины, негерметичность в деталях	Хорошая обрабатываемость, прочность и плотность. Твердость, износостойкость и цвет совпадают с подобными свойствами основного металла

Металлизация

Сплавами на основе молибдена, цинка и др.	Сыпидная пористость на рабочих поверхностях, уплотнение мест, создающих течь	Плотный, износостойкий
---	--	------------------------

Способы сварки	Характеристика дефекта	Характеристика наплавленного металла и соединения
Наплавленный металл — не чугун, к которому не предъявляются условия обрабатываемости резанием		
<i>Сварка</i>		
Ручная стальными электродами или полуавтоматическая порошковой проволокой или проволокой сплошного сечения	Несквозные дефекты на необрабатываемых поверхностях отливок	Высокая твердость, недостаточная плотность и прочность
<i>Несварочные способы исправления дефектов</i>		
Механическая заделка (пробками, вставками)	Несквозные дефекты на обработанных поверхностях	Соответствие основному металлу. Достаточная прочность соединения
Замазки на основе полимеров	Несквозные дефекты, неровности поверхности, преимущественно на необрабатываемых поверхностях	Достаточная плотность и прочность соединения
Пропитка уплотнителями химического или механического действия	Негерметичность стенок отливок, создающая течь	Надежность герметизации

самофлюсующими проволоками на никелевой и медной основе обеспечили более высокие показатели технологичности при сварке тонкостенных чугунных изделий, а также переходных слоев при многослойной наплавке.

Разработаны нагревательные печи и устройства для мелких, средних, крупных и тяжелых отливок. Это позволило существенно повысить сварочно-технологические показатели процессов горячей сварки и др. (табл. 3)

Глава III ¹

Общие вопросы технологии сварки чугуна

Создание технологических процессов сварки (заварки), составленных по операциям, позволяет сварщику обеспечить их единообразие и стабильность. Выполнение технологического процесса может быть проконтролировано на операциях, что способствует получению постоянных высоких качественных показателей. Неизменяющиеся составляющие процессов — сварочные режимы, сварочные материалы; изменяющиеся — термический режим и собственно сварочный процесс, зависящий от квалификации исполнителя.

Стабильность технологического процесса обеспечивается следующими показателями: производственной базой (участки сварки,

необходимые для выполнения технологических процессов); сварочными материалами для чугуна; термическими печами и устройствами для термообработки отливок и деталей; электро- и газосварочным оборудованием; сварочными газами и газоснабжением; мероприятиями по охране труда и безопасным методам работы; кадрами сварщиков и их специализацией; учетом и отчетностью; подготовкой дефектов под сварку (заварку).

При осуществлении горячей сварки чугунные отливки и детали предварительно частично или полностью нагревают до температуры 300—700° С. Степень нагрева подбирают в зависимости от сложности конфигурации, размеров и расположения дефектов в отливке, а также от применяемого способа сварки. В отдельных случаях учитывают и стадию механической обработки, на которой выявлен дефект.

При правильно организованном термическом цикле нагрева и охлаждения, а также технологии процесса сварки структура и твердость наплавленного металла приближаются к показателям основного. Кроме того, внутренние напряжения в чугунных отливках оказываются минимальными, что уменьшает возможность образования трещин и искажения размеров.

Нагревательное оборудование (табл. 4). В качестве нагревательных средств применяют специальные печи с выкатным подом (камерного типа), печи ямного типа, горны различных конструкций, переносные горелки и др., показанные на рис. 1.

Т а б л и ц а 4. Нагревательное оборудование

Тип и назначение	Размер (м) и площадь пода (м ²)
Печь специальная термическая с выкатным подом для общего индивидуального или группового нагрева крупных и средних отливок	2,1 × 4,3
Печь специальная термическая с выкатным подом для общего индивидуального или группового нагрева средних отливок	1,5 × 3,48
Двухрядная проходная печь для нагрева мелких и малогабаритных отливок и деталей перед заваркой и отжига после заварки	Размеры поддона 0,75 × 0,6 Допустимая высота отливки 0,65 м
Печь ямная однокамерная для нагрева тяжелых и крупногабаритных отливок	2,0 × 1,8 × 10
Печь ямная двухкамерная для нагрева тяжелых крупногабаритных отливок	2,0 × 1,8 × 8,0
Горн нагревательный с панельными горелками для группового общего или частичного нагрева средних отливок	3,0 × 2,7
Горн нагревательный с факельными горелками для группового общего нагрева мелких отливок	2,1 × 2,1
Горелки газовые переносные марки ИГК-25, ИГК2-10 для частичного индивидуального нагрева тяжелых, крупных и средних отливок	—

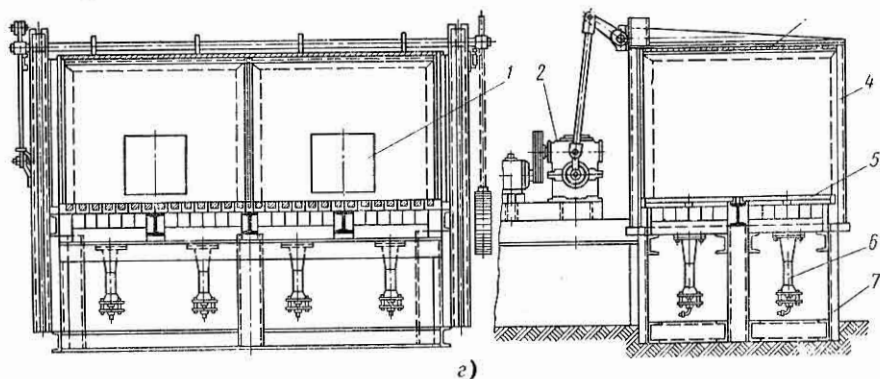
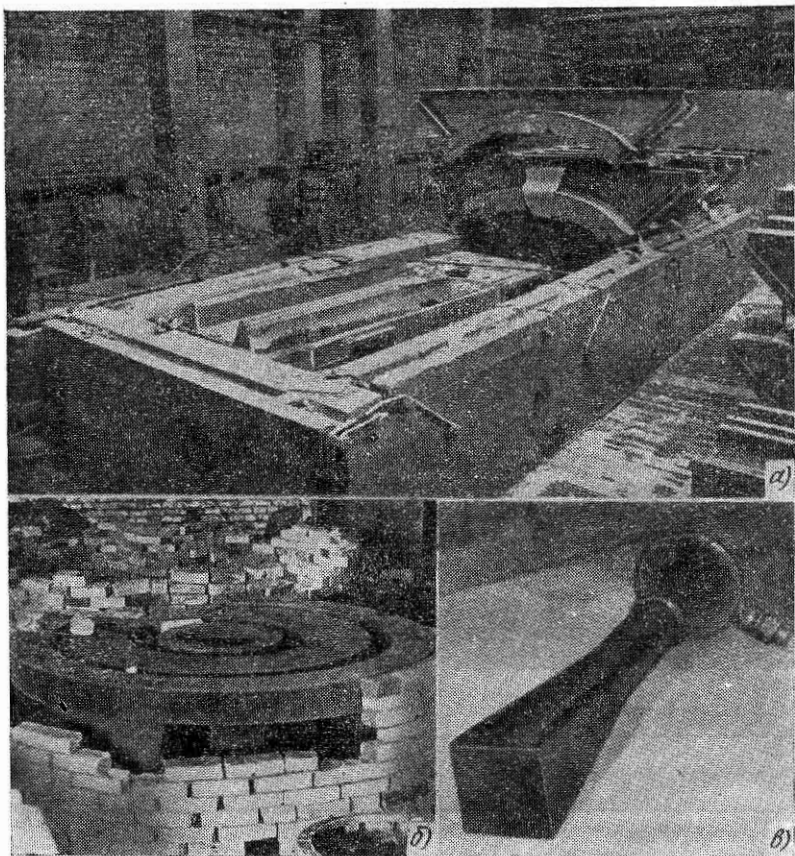


Рис. 1. Нагревательное оборудование:

a — печь ямного типа с заложенной в нее деталью; *б* — печь разового пользования;
в — переносная горелка; *г* — газовый нагревательный горн;
1 — окно; *2* — механизм подъема крышки; *3* — подъемная крышка; *4* — ограждение; *5* —
 чугунные балки; *6* — горелки; *7* — каркас

В практической работе находят также применение разовые нагревательные устройства в виде мангалов из кирпича или железа. В качестве топлива используют главным образом природный (сетевой) газ, в отдельных случаях может быть применен древесный уголь, кокс, электронагрев. Нагретые под заварку отливки исправляют на месте или перемещают на рабочее место сварщиков. В условиях массового поступления отливок или деталей на исправление вместо двухрядной проходной печи могут быть так же применены две отдельные однокамерные печи: одна для — нагрева, другая — для последующей термообработки.

Дуговые и газопламенные сварочные процессы, применяемые при исправлении дефектов, выполняют в основном с использованием стандартного сварочного оборудования.

Оборудование для дуговой сварки.

Горячую дуговую сварку осуществляют от источников питания повышенной мощности: выпрямителя ВДМ-1601; двух преобразователей ПСМ-1000, соединенных параллельно; трансформатора ТДФ-1601. Для надежности работы двух преобразователей, соединенных параллельно, необходимо обмотки возбуждения генераторов соединить последовательно с одним общим источником возбуждения, например сварочным преобразователем ПСО-300, обеспечив таким образом независимое возбуждение (рис. 2).

Значения сварочного тока обычно стабилизируется посредством балластных реостатов РБ-300, включенных в сварочную цепь.

Горячую сварку порошковой проволокой выполняют специализированными полуавтоматами (рис. 3) марки А1072М (однопроволочный) и А1072С (трехпроволочный). Для уменьшения веса токопровода и держателя, а также повышения их работоспособности предусмотрено водяное охлаждение токоведущих частей.

Техническая характеристика

	А1072М	А1072С
Диаметр электродной проволоки, мм	2,8—3,5	
Максимальный сварочный ток при ПВ 65%, А	1200	1800
Напряжение трехфазной питающей сети, В	380	
Число электродов	1	3
Скорость подачи электродной проволоки, м/ч	92—926	

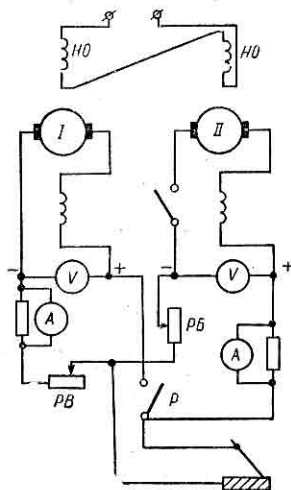


Рис. 2. Схема включения двух преобразователей ПСМ-1000 на параллельную работу

Изменение скорости подачи	Ступенчатое сменными шестернями	
Число ступеней	20	
Длина шлангового провода, м	2,5	
Габаритные размеры, мм:		
тележка с механизмом подачи и катушкой для электродной проволоки	1132×760×1300	1132×760×1250
рукоятка держателя с мундштуком	740×140×190	860×140×190
Масса, кг:		
тележка (без проволоки)	54	10С
рукоятка и мундштук (без шлангов)	3	3,5

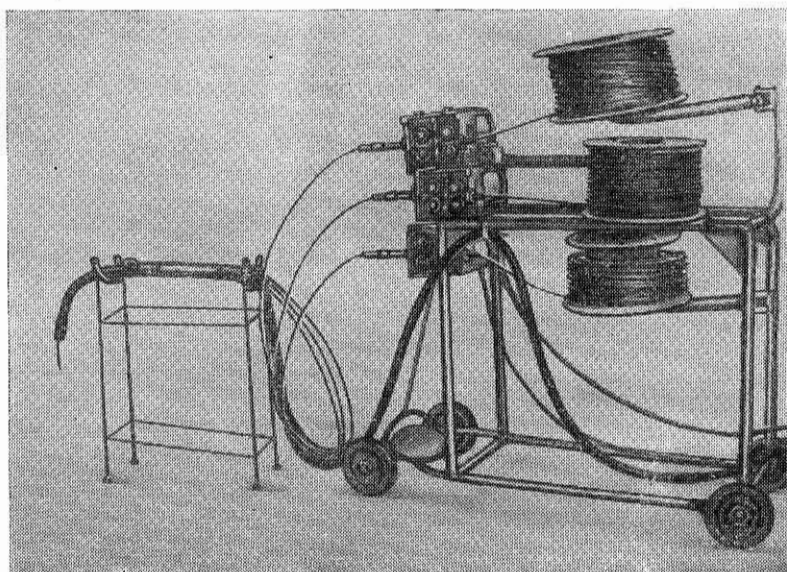


Рис. 3. Схема полуавтомата А1072С для сварки чугуна тремя проволоками

Источниками электропитания служат выпрямители ВКСМ-1000 или ПСМ-1000 (для одной проволоки) и ВДМ-1601 (для трех проволок).

Под воздействием высокой температуры раскаленной детали, теплоизлучений сварочной ванны большого объема, мощного дугового разряда и коротких замыканий кожух и мундштук оплавляются. Как показала практика, металлические защитные кожухи в условиях горячей дуговой сварки применять нельзя. Эффективность защиты достигается применением жаростойкого покрытия, разработанного ВНИИЛИТМАШ и заводом «Станколит», следующего состава: 40% песка кварцевого, 25% графита, 35% глины белой огнеупорной. Компоненты замешивают на воде до состояния крутого теста и наносят на мундштук и всю оголенную часть токосъемника слоем 10—15 мм на сторону (рис. 4).

Под воздействием высокой температуры покрытие спекается в керамикообразную массу и надежно тепло- и электроизолирует концевую рабочую часть держателя. Защитный жаростойкий слой по мере надобности возобновляют. В состав покрытия не рекомендуется вводить асбестовую крошку, так как это может вызвать засорение ванны неметаллическими включениями.

Лучшим специализированным полуавтоматом для горячей сварки проволокой с присадкой керамических стержней является полуавтомат ПС-2, разработанный ЦНИИТМАШем. Он имеет две системы регулирования скорости подачи проволоки: посредством вариатора и сменными шестернями. Система управления позволяет замедлять скорость подачи проволоки при обрыве дуги для уменьшения вылета проволоки. Подача проволоки осуществляется нажатием кнопки на держателе. Полуавтомат оснащен шланговым держателем, отличающимся от обычного наличием изолированной от корпуса держателя направляющей трубки (рис. 5), через которую стержни под углом 45° к присадочной проволоке подаются в зону дуги силой собственного веса или инерционно с помощью электромагнитного вибратора.

Поскольку ПС-2 централизованно не выпускают, можно использовать полуавтоматы типа А-762 (А-1197) с двумя парами ведущих роликов с гладкой зажимной поверхностью. Шлангопровод и держатель изготовлены из медной трубки с толщиной стенки 1,5—2 мм, в которую входит часть спирали направляющего канала. К трубке приваривают кронштейн, на котором изолированно помещают державку для подачи керамического стержня.

В качестве источников питания рекомендуются генераторы ПСГ-500 или сварочные выпрямители, имеющие жесткую внешнюю $\frac{1}{2}$ вольт-амперную характеристику.

Процессы холодной дуговой сварки осуществляют от источников электропитания пониженной мощности. Учитывая много-

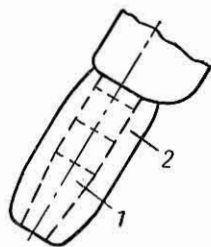


Рис. 4. Мундштук (1), защищенный жаростойким покрытием (2)

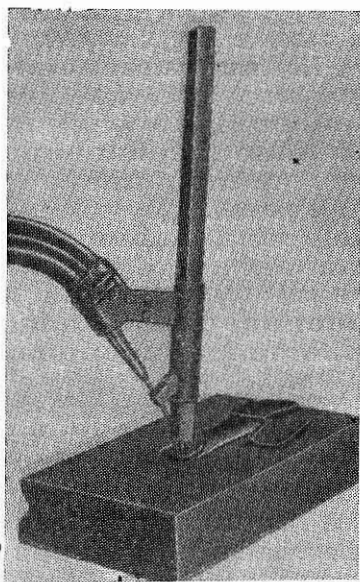


Рис. 5. Шланговый держатель для сварки с использованием керамических стержней

образии электродов, применяемых при холодной сварке с использованием прямой или обратной полярности, преимущество имеет выпрямительный или постоянный ток, получаемый от выпрямителей ВС-300, ВС-500, преобразователей ПСО-300, ПСО-500. В комплекте сварочного оборудования целесообразно также иметь сварочный трансформатор ТС-500, который может быть использован для декоративной заварки стальными электродами.

Для полуавтоматической сварки тонкими проволоками используют источники питания ВС-200, ВС-300 или преобразователь с жесткой характеристикой (полуавтоматы А-547, А547-У, А825).

При заварке дефектов на обрабатываемых и особенно на обработанных поверхностях и тонких стенках изделий сила тока снижается до 70—100 А. В этом случае точность регулировки достигается включением в сварочную цепь балластного реостата.

Оборудование для газовой сварки. Источники газопитания сварочных постов на предприятиях определяются исходя из объема и рода сварочных работ; ими могут быть ацетиленовые и кислородные газификационные станции, подающие газ к газоразборным точкам по трубопроводам; газопроводы природного (сетевого) газа, раздаточные рампы, питаемые от баллонов со сжатыми газами. При небольших объемах работ газопитание может осуществляться от баллонов, доставляемых к рабочему месту сварщиков.

Рабочим инструментом сварщиков служат сварочные горелки и газовые редукторы, поддерживающие рабочее давление газа.

Источник газопитания — заводская газоразборная сеть. Широкий поиск путей повышения тепловой эффективности природного газа, сгорающего в смеси с кислородом, открыл новые возможности по замене ацетилена и пропан-бутана при сварке чугуна природным (сетевым) газом.

Концевой газопровод, предназначенный для питания сварочного поста, снабжен запорной и предохранительной арматурой, для чего установлены пробковый запорный вентиль и обратный клапан (сухой затвор), предохраняющий сеть от возможных обратных ударов. Сварочные рукава присоединены к затвору. Избыточное давление газа в сети должно быть не ниже 0,6—0,7 ат.

Сварочной горелкой служит централизованно горелка ГЗУ-2-62 или ацетиленовая горелка ГС-3, в которой должны быть увеличены диаметры проходных отверстий инжектора и смесительной камеры. Горелка коммулятивного действия для газов-заменителей снабжена наворотными мундштуками, изготовленными из хромистой бронзы марки БрХ-05, устойчивой против налипания брызг расплавленного металла (рис. 6).

Эксплуатация сварочных горелок для газопорошковой наплавки типа ГАЛ-2 должна осуществляться в соответствии с правилами, предусмотренными инструкцией.

Таблица 5. Горючее для сварки и пайко-сварки чугуна

Горючее	Плотность при 20° С и 760 мм рт. ст., кг/м ³	Низшая теплота сгорания, ккал/кг	Температура пламени в смеси с кислородом, °С	Коэффициент замены ацетиленом	Соотношение между кислородом и горючим в смеси	Скорость распространения пламени, м/с	Температура воспламенения, °С		Опасная концентрация, %	
							с воздухом	с кислородом	с воздухом	с кислородом
Ацетилен C ₂ H ₂	1,09	11 500	3 150	—	1,1	13,5	305	205	2,2—81,0	2,8—93,0
Природный газ (метан) CH ₄ (94%)	0,72	12 000	2 200	1,6	2,5	3,3	645	550	5—17	5—59
			2 800							
Пропан-бутан (85% C ₃ H ₈ + 12% C ₄ H ₁₀)	1,92	11 000	2 800	0,6	3,5	3,7	500	470	2—9,5	1,5—48
Бензин	0,7 кг/л	10 000	2 500	1,2 кг/м ³	2,6 м ³ /кг	—	600	330	0,7—6,0	2,1—28,4
Керосин	0,8 кг/л	10 000	2 500	1,3 кг/м ³	2,55 м ³ /кг	—	609	291	1,4—5,5	—

Сварочные газы. В процессе газовой сварки металл нагревается и расплавляется за счет теплоты, выделяемой при сгорании горючей смеси, которая состоит из двух различных частей: окислителя и горючего (окисляемого) вещества. В качестве окислителя при сварке чугуна применяют кислород, в качестве горючего — ацетилен или его заменители пропан-бутан и природный газ.

Наиболее высокую температуру и концентрацию теплоты имеет ацетилено-кислородное пламя. Однако при горячей сварке чугуна лучшие результаты дает «мягкое» пропан-бутано- или ме-

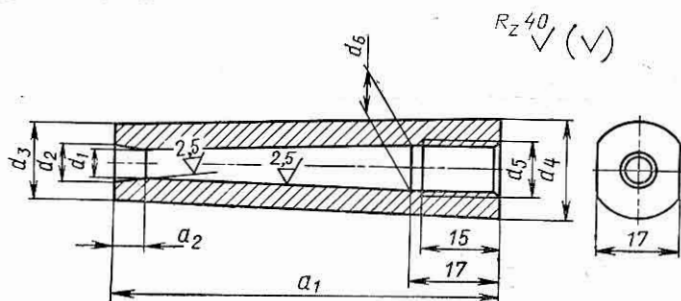


Рис. 6. Мундштук кумулятивного действия:

Мундштук	a_1	a_2	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	d_6	Диаметр инжектора	Диаметр смешительной камеры
№ 3	65	3,8	3,3	3,6	15	20	M10×1	7	1,1	3,35
№ 4	65	4,5	3,9	4,4	15	20	M10×1	7	1,3	4,00
№ 5	75	5,2	4,5	5,2	15	20	M11×1	8	1,5	4,60
№ 6	75	5,9	5,1	5,9	15	20	M11×1	9	1,7	5,25

тано-кислородное пламя (табл. 5). При переходе от ацетилена на его заменители необходимо учитывать, что при этом в 2—3 раза увеличивается расход кислорода, поэтому переводить сварку на пропан-бутан или на городской газ целесообразно в тех случаях, когда кислород подается по трубопроводам от кислородной газификационной станции.

Подготовка дефектов под заварку. Качество исправления дефектов отливок заваркой и другими методами в значительной мере зависит от правильной подготовки поверхности дефекта под заварку. Форма разделки литейных дефектов под заварку определяется характером дефекта и условиями, предъявляемыми технологией их заварки. В подготовку отливки входят: разделка дефектов до чистого основного металла пневмообрубкой, воздушно-дуговой резкой или механическими способами; изготовление отсутствующих частей, вставок и подгонка их к месту приварки; подформовка контура дефекта жаростойкой глиной.

Сварочные материалы для чугуна

Для сварки чугуна при исправлении дефектов отливок до и после механической обработки, при восстановительном ремонте деталей, вышедших из строя в процессе эксплуатации оборудования, а также сварно-литых конструкций применяют различные сварочные материалы: электроды, проволоки, присадки, наплавочные порошки, флюсы и др. Необходимость в расширенном ассортименте сварочных материалов обусловлена природными свойствами чугуна в силу которых приходится считаться с марками чугунов, конструктивными особенностями отливок и деталей, эксплуатационным назначением поверхностей, характером и размерами дефектов, стадией механической обработки отливок, на которой выявлены дефекты и т. п.

Подбором соответствующих электродов и присадочных материалов, а также способов сварки можно получать наплавленный металл в виде чугуна с заданными свойствами (ферритно-перлитный, перлитный, высокопрочный с шаровидным графитом и пр.), углеродистой стали, высоколегированной стали, сплавов с высоким содержанием меди, никеля и др., в наибольшей мере отвечающих характеру исправляемого дефекта и эксплуатационному назначению поверхности.

Потребность в сварочных материалах для чугуна удовлетворяется частично путем централизованного производства, однако значительную часть приходится изготавливать на местах.

Различными организациями и изобретателями предложено большое количество электродов, проволок (порошковых и сплошного сечения), присадочных материалов, порошковых наплавочных сплавов и др.; им присвоены марки (местное обозначение); их характеристики даны в информационных листах. Авторами, как правило, организуется внедрение разработок на отдельных предприятиях. Однако производственники не всегда получают исчерпывающую объективную информацию о цели разработки новых сварочных материалов, рациональной области их использования, технологии применения, технологичности при исправлении определенных групп дефектов и качественной характеристике наплавленного металла.

Для оценки соответствия многочисленных марок сварочных материалов требованиям развивающейся промышленности, их систематизации, классификации и создания ориентации при разработке новых марок сварочных материалов для чугуна проведена работа с участием ВНИИЛИТМАШ (базовая лаборатория сварки), завода «Станколит» и Московского Опытного сварочного завода. При проведении работы ставилась задача обновления материалов, производимых централизованно, и организации промышленного выпуска материалов новых марок.

Сварочные материалы оценивали с учетом качественных характеристик наплавленного металла, технологических признаков применения, показателей технологичности при исправлении определенных групп дефектов и экономических показателей. Для удобства оценки сварочные материалы подразделены на три большие группы.

Группа I. Чугунные литые прутки, чугунные электроды, порошковые проволоки и др., предназначенные для получения наплавленного металла в виду чугуна с заданными свойствами (ферритно-перлитный, перлитный, высокопрочный чугун с шаровидным графитом), применяют в процессах газовой и дуговой сварки, наплавки, осуществляемых ванным способом, при котором расплавленный металл сосуществует с основным, предварительно нагретым металлом (горячая сварка).

Применительно к процессам горячей газовой и дуговой сварке, наплавке сварочные материалы имеют свои рациональные области использования — прутки чугунные: $\varnothing 10-12$ мм — для газовой сварки при исправлении дефектов небольших и средних размеров; $\varnothing 6-8$ мм — для газовой низкотемпературной пайко-сварки при исправлении дефектов небольших размеров; $\varnothing 12-16$ мм — для изготовления электродов для дуговой сварки, при исправлении дефектов крупных и очень крупных размеров; порошковые проволоки: $\varnothing 3-5,5$ мм — для дуговой механизированной сварки при исправлении дефектов крупных и очень крупных размеров.

Сварочные процессы применительно к чугунам различных классов существенно не изменяются. Получение чугуна с заданной структурой и свойствами достигается применением соответствующих сварочных материалов.

Условиям получения ферритной и ферритно-перлитной структуры наплавленного металла соответствуют сварочные материалы, основанные на высоком содержании графитизаторов углерода, кремния, кальция, вводимых в виде ферросплавов, карбида кремния и др. К ним относятся прутки чугунные по ГОСТ 2671—70 для газовой заварки и изготовления электродов; прутки чугунные ПЧ1 (Станколит), а также порошковые проволоки ППАНЧ-2 (ИЭС им. Е. О. Патона), ППЧ-3 (Станколит), ППСВ-7 (ВНИИкомпрессор), ППСЧ-19 и ППСЧ-6Ф (ВПТИСТРОЙДОРМАШ) и т. п. При дуговой горячей заварке количество феррита составляет 40—60%. Углерод кристаллизуется с образованием графита в количестве, превышающем необходимое. Твердость и обрабатываемость наплавленного металла обычно удовлетворительные, показатели же прочности меньше предела чугунов СЧ 18-21. При газовой заварке дефектов небольших объемов твердость наплавленного металла не имеет стабильных показателей (*HV* 220—260). Чугун с высоким содержанием феррита, получение которого могут обеспечить указанные материалы, непригоден для поверхностей, подвергающихся поверхностной закалке, а также для

отливок из высокомарочных чугунов, где требуется близкое совпадение физико-механических свойств и наплавленного металла с основным.

Условиям получения перлитной структуры в наплавленном металле соответствуют сварочные материалы, в которые при повышенном содержании углерода и пониженном кремния введено небольшое количество редкоземельных металлов. К ним относятся прутки чугунные ПЧ-2 (ВНИИЛИТМАШ); прутки чугунные, самофлюсующиеся (Станколит); электроды чугунные ЭЧ-2 (ВНИИЛИТМАШ); порошковая проволока ППЧ-3М (ВНИИЛИТМАШ и Станколит). При дуговой горячей и газовой заварке количество феррита составляет 5—10%, остальное перлит мелкопластинчатый и сорбитообразный. Показатели твердости и обрабатываемости — стабильные.

Условиям получения высокопрочного чугуна при горячей дуговой и газовой заварке соответствуют прутки чугунные ПВЧ-1, электроды чугунные ЭВЧ-1, проволока порошковая ППВЧ-1 (ВНИИЛИТМАШ) и ППАНЧ-5 (ИЭС им. Е. О. Патона). Введение в состав сварочных материалов редкоземельных металлов обеспечило сохранение шаровидной формы графита в условиях длительного существования жидкой ванны в процессе наплавки.

Условиям получения наплавленного металла в виде чугуна, имеющего стабильные показатели по структуре, твердости, обрабатываемости и т. п., валиковой наплавкой без подогрева чугуна не соответствует ни одна марка чугунных прутков, электродов и порошковых проволок, которую можно было бы рекомендовать в качестве базовой.

Условиям получения наплавленного металла — чугуна низкотемпературной пайко-сваркой (без расплавления основного металла) соответствуют наряду с прутками НЧ-1 и НЧ-2 по ГОСТ 2671—70 также их модификация УНЧ-1 (ВНИИАВТОГЕНМАШ) и прутки ПЧ-2 и ПЧ-3 (ВНИИЛИТМАШ и Станколит).

При оценке сварочных материалов, входящих в группу I, учитывалось, что централизованно чугунные прутки и чугунные электроды в стране не производятся. Потребность в них удовлетворяется ведомственными литейными предприятиями. Порошковая проволока, единственная марка которой выпускается централизованно, не удовлетворяет запросам производства. Литые чугунные сварочные материалы и порошковые проволоки в соответствии с запросами промышленности совершенствуют крупные литейные предприятия, а также профилирующие подразделения НИИ, поэтому обобщенные сведения о литых и проволочных материалах будут полезны производителям.

Группа II. Электроды, проволоки, присадочные прутки, порошковые наплавочные сплавы и т. п. на никелевой, медной, железной основе, предназначенные для получения наплавленного металла — не чугуна, к которому предъявляются (в определенных пределах) условия обрабатываемости резанием, плотности и

прочности, или таких требований не предъявляется, применяют в процессах дуговой сварки и наплавки, осуществляемых валиками (дуговая сварка), и газопламенной без расплавления основного металла (низкотемпературная пайко-сварка), при которых изделие предварительно не нагревается или нагревается незначительно до температуры 150—300° С.

Эти материалы используют для исправления чугунных изделий различного эксплуатационного назначения и состояния (обработанные, обрабатываемые, рабочие нерабочие, а также необрабатываемые), когда к наплавленному металлу предъявляются главным образом требования обрабатываемости, плотности и прочности, без серьезных требований в смысле разнородности металла и различия цвета. Применительно к процессам холодной дуговой и низкотемпературной пайко-сварки сварочные материалы имеют свои рациональные области использования. Проведено обновление электродов для ручной холодной сварки чугуна, выпускаемых централизованно. Вместо устаревших марок электродов МНЧ-1 и ОЗЧ-1 выпускаются МНЧ-2 и ОЗЧ-2, обладающие более высокими показателями сварочно-технологических свойств. налажен промышленный выпуск электродов ОЗЖН-1 на железоникелевой основе. Диаметр выпускаемых электродов 3—5 мм.

Разработаны и находят практическое применение для полуавтоматической сварки тонкие самофлюсующие проволоки диаметрами 1—2 мм; ПАНЧ-11 на никелевой основе и МрЗКМцТ 03-03-1,0-03 на медной основе, механизированная сварка которыми имеет более высокие показатели технологичности относительно ручной сварки электродами диаметрами 3—4 мм.

Сварочные материалы для низкотемпературной пайко-сварки, протекающей без расплавления основного металла, разделены на три части: первая из них включает чугунные прутки (описаны в группе I сварочных материалов); вторая — сплав ЛОМНА на медной основе, не имеющий конкурирующих сплавов; третья — наплавочные порошковые сплавы типа НПЧ для газопорошковой наплавки. Наплавочные порошковые сплавы НПЧ-1, НПЧ-2, НПЧ-3, НПЧ-4, разработанные в стране впервые, открывают новые возможности низкотемпературных процессов пайко-сварки.

Для ручной декоративной сварки-наплавки без предъявления к наплавленному металлу условий обрабатываемости резанием приняты тонкопокрытые электроды типа Э34 марки АН-1 диаметрами 3—6 мм.

Группа III. Керамические стержни и флюсы — неметаллические сварочные материалы для получения высококачественного наплавленного металла.

В результате проведенной работы осуществлена оценка качественных показателей сварочных материалов, отобраны лучшие представители в качестве базовых сварочных материалов, проведена оценка их технологических показателей (табл. 6).

Таблица 6. Базовые сварочные материалы

Наименование	Марка или обозначение	Назначение
Наплавленный металл — чугун с перлитно-ферритной структурой		
Прутки чугунные (ГОСТ 2671—70)	А, Б	Для горячей газовой сварки (заварки) и изготовления электродов
Прутки чугунные	ПЧ-1	Для горячей газовой сварки, наплавки (\varnothing 10—12 мм), для изготовления электродов (\varnothing 12—16). Разработаны с целью улучшения сварочно-технологических свойств прутков и повышения качества наплавленного металла
Электроды чугунные на прутках ПЧ-1, А, Б	ЭЧ-1	Для горячей дуговой сварки-наплавки (\varnothing 12—16 мм)
Проволока порошковая	ППАНЧ-2	Для механизированной горячей дуговой наплавки, сварки
То же	ППЧ-3	То же. Разработана с целью улучшения сварочно-технологических свойств проволоки применительно к ванному способу наплавки и повышения качества наплавленного металла
Электроды на проволоке Св-08	ЦЧ-5	Для горячей дуговой сварки дефектов небольших размеров на обработанных поверхностях
Наплавленный металл — чугун с перлитной структурой		
Прутки чугунные	ПЧС-1 (ПЧ-2)	Для горячей газовой сварки, наплавки, для низкотемпературной пайко-сварки, для изготовления электродов
Прутки чугунные самофлюсующие	ПЧ-3	Для горячей газовой сварки, наплавки при исправлении дефектов модифицированных чугунов
Прутки чугунные (ГОСТ 2671—70)	НЧ-2 УНЧ-1	Для низкотемпературной пайко-сварки при исправлении дефектов небольших размеров на обработанных поверхностях
Электроды чугунные на прутках ПЧС-1	ЭЧ-2	Для горячей дуговой сварки-наплавки
Проволока порошковая \varnothing 3—5,5 мм	ППЧ-3М	Для горячей дуговой механизированной сварки, наплавки

Наименование	Марка или обозначение	Назначение
Наплавленный металл — чугун с шаровидным графитом		
Прутки чугунные	ПЧС-2 (ПВЧ-1)	Для горячей газовой сварки, наплавки
Электроды чугунные на прутках ПЧС-2	ЭВЧ-1	Для горячей дуговой сварки, наплавки ванным способом
Порошковая проволока	ППАНЧ-5	Для горячей дуговой механизированной заварки дефектов валиками или полужидкой ванной
То же	ППВЧ-1	Для горячей дуговой механизированной сварки, наплавки при исправлении дефектов ванным способом. Проволока имеет улучшенные сварочно-технологические свойства и обеспечивает получение графита шаровидной формы в условиях длительного существования жидкой ванны
Электроды медно-никелевые	МНЧ-2	Для холодной дуговой заварки несквозных дефектов на обрабатываемых и обработанных поверхностях отливок, а также дефектов различного характера при ремонте деталей. Разработаны взамен ранее выпускаемых МНЧ-1.
Наплавленный металл — не чугун, к которому предъявляются условия обрабатываемости		
Электроды медно-стальные на медной проволоке	ОЗЧ-2	Для холодной дуговой заварки сквозных дефектов преимущественно на необрабатываемых поверхностях, а также для подслоя при комбинированной многослойной наплавке. Разработаны взамен ранее выпускаемых ОЗЧ-1
Электроды железоникелевые	ОЗЖН-1	Для холодной дуговой заварки различных дефектов на обрабатываемых, обработанных и необрабатываемых поверхностях
Электроды специальные на проволоке Св-08	ЦЧ-4	Для холодной дуговой заварки дефектов на обра-

Наименование	Марка или обозначение	Назначение
Электроды специальные на проволоке Св-08 Сварочные проволоки малых диаметров: на никелевой основе самофлюсующая	ЦЧ-4 ПАНЧ-11	ботанных нерабочих поверхностях Для холодной дуговой механизированной сварки, наплавки переходного слоя при многослойном заплвлении дефектов на обработанных поверхностях. При заварке различных дефектов на тонких стенках деталей, бывших в эксплуатации
на медной основе самофлюсующая	МрЗКМцТ-03-03-7,0-0,3	Для холодной дуговой механизированной сварки, наплавки при исправлении мест печи по жеробейкам, спаям, отверстиям. Для переходного подслоя при многослойной комбинированной наплавке. Для заварки сквозных дефектов на тонкостенных деталях, бывших в эксплуатации
Прутки латунные	ЛОМНА	Для низкотемпературной пайко-сварки при исправлении дефектов на обработанных поверхностях отливок и ремонте деталей
Порошковые самофлюсующие сплавы	НПЧ-1; НПЧ-2; НПЧ-3; НПЧ-4	Для низкотемпературной газопорошковой наплавки при исправлении дефектов, выявленных на финишных операциях механической обработки отливок, а также для ремонта деталей, бывших в эксплуатации
Наплавленный металл — не чугун, к которому не предъявляются условия обрабатываемости		
Электроды стальные на проволоке Св-08 тонкопокрытые	АН-1	Для холодной (декоративной) заварки дефектов на необрабатываемых поверхностях
Керамические стержни, флюсы		
Керамические стержни	СКЧ-3	Для горячей дуговой механизированной заварки дефектов средних и небольших размеров

Наименование	Марка или обозначение	Назначение
Керамические стержни	СКВЧ-1	Для горячей дуговой механизированной заварки дефектов небольших и средних размеров высокопрочного чугуна
Флюс	ФСЧ-1	Для газовой заварки дефектов чугунной присадкой
»	ФСЧ-2	Для газовой низкотемпературной пайко-сварки дефектов чугунной присадкой
»	ФПСН-1	Для пайки латунными припоями
»	ФПСН-2	Для газовой низкотемпературной пайко-сварки чугуна медносплавными присадками типа ЛОМНА

Сварочные материалы группы I. Задача получения наплавленного металла в виде чугуна, качественные показатели которого близки показателям основного металла, решается обычно технологией сварочного процесса, в котором в качестве постоянной не изменяющейся составляющей участвует чугунный присадочный металл (прутки, электроды). Поэтому получение чугунных прутков и электродов, переплав которых дает металл, обладающий необходимыми физико-химическими свойствами, является предметом постоянного изучения и совершенствования.

В практической работе частым явлением оказывается нестабильность показателей структуры и твердости наплавленного металла, а также пористости губчатого характера, которая периодически образуется и не исчезает в процессе газовой сварки, наплавки. При дуговой сварке ванным способом такие неполадки проявляются в значительно меньшей степени.

Изучение природы указанных явлений показало, что металл расплавляемого чугунного прутка, принятый в сварочном технологическом процессе как составляющая постоянная и неизменяющаяся, в самом деле изменяется в зависимости от шихтовых материалов, способа выплавки и отливки металла прутков. Отсюда вывод: для того чтобы чугунные сварочные материалы отвечали поставленной задаче, необходимо стабилизировать процесс их изготовления.

Серые чугуны представляют собой сложную композицию сплава железа с различными элементами и в первую очередь с углеродом, кремнием и марганцем. В нашем случае такими основными элементами являются углерод и кремний. По своей структуре серые чугуны представляют собой также сложную

композицию. При газовой сварке чугуна, которая преимущественно осуществляется общей ванной, как в любом плавильном процессе, протекают сложные физико-химические процессы.

Поры в направленном металле могут быть вызваны в каждом конкретном случае различными причинами, однако механизм возникновения пузырьков в кристаллизующейся сварочной ванне всегда связан с изменением растворимости газов при изменении температуры. Жидкий металл растворяет значительно больше газа, чем твердый. По мере повышения температуры расплавленного металла растворимость газов неодинакова: сначала увеличивается, проходит через максимум, и при дальнейшем повышении температуры падает; при температуре кипения металла растворимость газов равна нулю.

При охлаждении расплавленного металла до температуры затвердевания растворимость газов постепенно уменьшается, но все же остается достаточно высокой. Однако для выделения этого избыточного количества газов и образования пор в наплавленном металле должны быть соответствующие условия. Имеются данные, согласно которым зарождение газовых пузырьков практически невозможно в гомогенном жидком расплаве. Зарождение пузырьков газов в жидком металле всегда происходит на границе раздела фаз: на поверхности раздела шлак—металл, на поверхности растущих кристаллов и т. д.

Если принять температуру, близкую к температуре кристаллизации, постоянной, то на величину этого критического зародыша преимущественно будут влиять два фактора: поверхностное натяжение и степень пересыщения жидкого металла растворенными газами.

Газы в сварочной ванне возникают в результате реакции растворенных газов с плохо раскисленным металлом; высокого давления насыщенного пара отдельных компонентов сплава при температуре кристаллизации; захвата газов из пламени и окружающей атмосферы; термодиффузионных процессов в основном металле.

Считается, что в чугунах в образовании газовой пористости большое значение имеет окись углерода, которая может попасть из пламени горелки и образоваться в ванне в результате реакции восстановления закиси железа: $\text{FeO} + \text{C} = \text{Fe} + \text{CO}$. Нерастворимая в чугунах окись углерода и образует зародышевые микропузыри. В условиях сварки этой реакции может благоприятствовать интенсивное развитие междендритной ликвации углерода и закиси железа вследствие большой скорости охлаждения металла шва. Местное повышение концентрации окислов железа может быть и как результат застревания в металле шва шлаковых включений. При температурах 1400° С и ниже, т. е. температурах, наиболее вероятных в сварочной ванне, до момента кристаллизации раскисляющая способность кремния значительно выше, чем углерода. Практически весь кислород в чугунах находится в связанном виде. В отношении порообразования очень важен

водород, попадающий при газовой сварке прежде всего из пламени, другой источник — влага, которая может содержаться во флюсах.

По данным Д. Сефериана восстановительная зона ацетиленокислородного пламени имеет следующий состав: 61% CO; 22% H₂; 17% Н. В молекулярном состоянии водород (H₂) образует внутрикристаллитные заполненные газом полости. В атомарном (H) или ионизированном (H⁺) состояниях водород внедряется в кристаллическую решетку, причем он легко диффундирует в кристаллическую решетку железа. Скорость диффузии и растворимость водорода зависит от аллотропического состояния железа. В частности, растворимость водорода в γ -железе намного выше, чем в α - и δ -железе. Предельная растворимость водорода в твердом железе при 1530° С составляет 8 см³/100 г или 0,0007%. Переход металла из твердого состояния в жидкое значительно увеличивает растворимость водорода (28 см³/100 г или 0,0025%), что в литейном производстве считается недопустимым.

Азот может вступать в реакцию с железом с образованием нитридов, однако эта реакция при непосредственном контакте молекулярного азота и металла идет только при очень высоких температурах, поэтому при газовой сварке наличие нитридов в наплавленном металле не наблюдается.

Для всестороннего анализа причин и условий образования газовой пористости в наплавленном металле при сварке чугуна недостаточно выявить поведение газов в нем. Необходимо также установить природу и условия образования неметаллических включений, которые могут стать центрами порообразования.

Исходя из происхождения неметаллических включений, их можно подразделить на две группы: природные включения, образующиеся в результате реакций, протекающих в жидком или затвердевающем металле, и посторонние включения, вносимые в результате механического примешивания случайно запутавшихся частиц шлака, огнеупорных материалов и др., но они существенного влияния не оказывают. В первую группу входят: сульфиды, фосфиды и окислы. Вся сера практически в процессе затвердевания выделяется в виде сульфидов присутствующих элементов, главным образом в виде сульфидов марганца и железа.

Последние чаще всего образуют между собой твердые растворы. Фосфидные включения выделяются в чугунах в виде Fe₃P, который входит в тройную или двойную эвтектику вместе с карбидом железа и твердым раствором железа с углеродом и фосфором.

Из окисных включений в чугунах могут присутствовать кремнезем, силикаты железа и марганца, глинозем и алюмосиликаты: 30—70% кремнезема; 20—50% глинозема, окислы кальция и магния; 3—14% закиси железа и до 3,5% закиси марганца. Качественный анализ минералогического состава неметаллических включений выявил наличие кристаллического кварца, кварцевого стекла, силикатных стекол.

Химический состав неметаллических включений показывает, что в них содержится более 50% кремнезема, окись марганца не превышает 2—3% и остальное составляют окислы железа. Газовый пузырек преимущественно выделяется на плохо смачивающихся поверхностях. Сила прилипания этого пузырька к такой поверхности, а следовательно, и вероятность его сохранения в шве тем больше, чем больше краевой угол смачивания. Наиболее вероятной поверхностью для зарождения газового пузырька являются неметаллические включения.

Уплотнение металла шва при газовой сварке чугуна должно идти главным образом по пути разработки такого технологического процесса, при котором обеспечивается наиболее полное раскисление металла и удаление неметаллических включений из сварочной ванны, что может быть получено в результате применения чистых от неметаллических включений присадочных прутков и высокоактивных флюсов.

Газовая пористость наплавленного металла при газовой сварке чугуна зависит прежде всего от качества применяемых присадочных прутков. Газовая пористость, как правило, отмечается при использовании прутков с поздней дошихтовкой ферросилиция.

Представляют интерес результаты экспериментальных работ ВНИИАВТОГЕНМАШ, завода «Станколит» по выявлению основной причины образования пористости и влияния качества присадочных прутков на процесс плавления и затвердевания. Были отлиты прутки с дошихтовкой металла ферросилицием на жолоб вагранки и с различной выдержкой этого металла в ковше (режим II). Для сравнения исследованы также прутки с полной дошихтовкой ферросилиция в вагранке и с выдержкой металла в копыльнике (режим I) (табл. 7).

Т а б л и ц а 7. Химический состав * исследуемых прутков, %

Режим выплавки	C	Mn	Si	P	S
I	3,32	0,60	4,40	0,11	0,033
II при выдержке в мин:					
3	3,10	0,76	3,92	0,16	0,065
7	3,13	0,78	4,01	0,16	0,065
11	3,22	0,76	3,94	0,16	0,065
14	3,22	0,76	3,96	0,16	0,075
15	3,26	0,74	3,96	0,16	0,098

* 0,07% Cr; Fe — остальное.

Прутки были подвергнуты тщательному исследованию с целью определения в них неметаллических включений. Указанными прутками была выполнена заварка чугуна с последующим опре-

делением качества наплавленного металла. При изучении качества прутков исследовалось соответствие их требованиям ГОСТ 2671—70.

Химический анализ присадочных прутков показал, что вне зависимости от способа их получения они практически имеют одинаковый состав и соответствуют марке Б по ГОСТ 2671—70. Осмотр поверхности и излома прутков, взятых из каждой партии, также не выявил влияния режима их изготовления и показал их полное соответствие требованиям указанного выше ГОСТа. Визуальный осмотр выявил, что поверхность прутков чистая без видимых раковин. В изломе отсутствуют следы отбела, наличия пор, раковин, шлаков.

Газовый анализ также не выявил заметного влияния способа введения ферросилиция в присадочный металл (табл. 8). В прутках, в которых ферросилиций введен на жолоб, наблюдается некоторое увеличение кислорода, а следовательно, можно ожидать увеличения и неметаллических включений типа силикатов.

Т а б л и ц а 8. Газовый анализ исследуемых прутков
(среднее из трех образцов), %

Режим выплавки	O ₂	H ₂	N ₂
I	0,0027	0,000786	0,0064
II при выдержке в мин:			
2	0,00332	0,001300	0,0053
7	0,01650	0,000624	0,0232
8	0,00378	0,000820	0,0069
13	0,00885	0,006800	0,0130
15	0,00570	0,001010	0,0027

На основании литературных данных определены свойства неметаллических включений в исследуемых чугунах (табл. 9), выявляющиеся при микроисследовании, в частности при исследовании в поляризованном свете. В поляризованном свете свечение наблюдается лишь у анизотропных веществ. Вещества с кубической решеткой, к каким следует отнести сульфиды, не светятся. Некоторые изотропные вещества вследствие своей прозрачности в поляризованном свете также оказываются освещенными на основном темном фоне. Степень их освещенности не изменяется в зависимости от положения объекта и поэтому эффекта «погасания» не наблюдается. К подобного рода элементам можно отнести силикатное и кварцевое стекло. Согласно данным табл. 10, эти включения в поляризованном свете светятся и имеют характерный оптический крест.

На основании вышеприведенных данных определен наиболее вероятный состав неметаллических включений в присадочных

прутках, а затем и в наплавленном металле. Количество их определяли путем подсчета на единицу площади (1 мм^2 или $0,01 \text{ мм}^2$) в центральной части прутка и ближе к краю.

Микроисследование шлифов производили при увеличении $\times 100$; $\times 1500$ как в простом, так и в поляризованном свете. Во всех исследуемых прутках выявлены неметаллические включения, количество которых резко изменялось в зависимости от режима получения прутков. Состав неметаллических включений в прутках довольно однороден. В основном — это силикатные включения, так как при просмотре в поляризованном свете они светятся, не давая эффекта «погасания» и имеют характерный оптический крест. Такой же эффект могло бы дать и кварцевое стекло. Однако, поскольку оно — постороннее включение, количество его, очевидно, не может зависеть от способа введения ферросилиция.

Т а б л и ц а 9. Характеристика неметаллических включений по оптическим свойствам

Неметаллические включения	Оптические свойства	
	в светлом поле	в поляризованном свете
Графит	Темно-серые пластинки различной формы	Анизотропен, светится
Кремнезем: кварц кварцевое стекло	Темно-серый Темно-серые шарики с блестящей точкой в центре с кольцевым отсветом	То же Изотропно, светится с оптическим крестом
Силикатное стекло	Серые включения с блестящей точкой в центре	Изотропно, светится с оптическим крестом
Сульфид марганца Глинозем (корунд)	Серо-голубой Темно-серый с фиолетовым оттенком	Изотропен, не светится Прозрачен, анизотропен, эффект анизотропии проявляется слабо
Плюмосиликаты	Темно-серый	Прозрачны, анизотропны, бесцветны

Примечание. Из каждой партии исследовали не менее шести шлифов (из шести прутков).

Кроме того, выявлено незначительное количество светящихся в поляризованном свете включений без оптического креста, по видимому, MnS , но так как количество MnS очень невелико (в виде единичных включений), их количество в дальнейшем не учитывали и оценку загрязненности металла прутков производили только по силикатным включениям.

При просмотре шлифов, вырезанных из прутков, полученных по режиму I, выявлены как в простом, так и поляризованном свете лишь единичные включения силикатов, что свидетельствует о высокой чистоте упомянутых прутков. В простом свете — это серые округлой формы включения, в поляризованном — светя-

щия с оптическим крестом. Количество их одинаковое примерно в обоих случаях. Диаметр включений имеет размеры меньше 1 мкм. Количество силикатов на 0,01 мм² площади колеблется от нуля до пяти штук.

При просмотре шлифов, вырезанных из прутков, полученных по режиму II с выдержкой ферросилиция в ковше 11—15 мин, выявлено большое количество очень мелкодисперсных включений силикатов размером 0,25 мкм. Количество силикатов на 0,01 мм² 10—25 шт.

Как показало микроисследование, прутки, полученные путем введения ферросилиция на жолоб вагранки при выдержке в ковше до заливки в течение 3—7 мин, еще в большей степени загрязнены неметаллическими включениями. Количество силикатов на 0,01 мм² 25—70 шт. Размер включений 0,25—1,5 мкм, причем преобладают более крупные включения (1—1,5 мкм).

На основании полученных данных составлена трехбалльная шкала неметаллических включений типа силикатов в чугунах, видимых в поляризованном свете при увеличении $\times 1500$. Первый балл этой шкалы соответствует единичным включениям, количество которых не превышает 3—5 шт. на 0,01 мм². Размер включений менее 1 мкм. Второй балл шкалы соответствует количеству включений 10—25 шт. на 0,01 мм². Размер включений в среднем 0,25—0,50 мкм. Третий балл шкалы соответствует количеству включений на площади 0,01 мм² — 25—70 шт. Размер включений 0,25—1,5 мкм. Величина пористости наплавленного металла находится в зависимости от степени загрязненности (от номера балла по шкале) присадочных прутков.

Т а б л и ц а 10. Оценка пористости по трехбалльной системе (средние данные из 6—8 образцов)

№ партии присадочных прутков	Оценка присадочного прутка по загрязненности силикатными включениями, баллы	Результаты наблюдения за сварочной ванной	Результаты макроисследования сварных темплетов
1	I	Ванна спокойная, единичные газовые пузырьки и шлаки, легко выводимые из ванны присадочным прутком либо дополнительным прогревом ванны	Только в 25% темплетов единичные газовые включения
2	II	Ванна кипит, большое количество газовых пузырей по всей глубине ванны. Пузыри не удаляются при перемешивании ванны и дополнительном прогреве	В 100% темплетов почти сплошная сотовая пористость
3	III	То же	То же

Прутками каждой группы заварено не менее шести—десяти однотипных дефектов с применением порошкового флюса состава: 50% натриевой селитры, 50% буры. Изменялись только присадочные прутки, в остальном режим заварки поддерживали строго постоянным. Время подогрева дефекта, выдержка ванны после заварки под горелкой по возможности также сохранялись постоянными.

При заварке дефектов прутками партий № 1—3 выявилась резкая разница в газонасыщенности сварочной ванны (табл. 10). Прутки, оцененные баллом 1, т. е. практически чистые от силикатных включений, обеспечивают спокойную чистую сварочную ванну и соответственно плотный наплавленный металл.

При сварке прутками, оцененными баллами II и III, сварочная ванна кипит, отмечается большое количество газовых пузырей, которые практически из ванны не удавалось удалить. При микроисследовании в наплавленном металле выявлена большая загрязненность газовыми пузырьками. Газовые пузыри имеют характерную светлую неокисленную поверхность. Последнее указывает на то, что основным источником газов служит, очевидно, водород. Во всех образцах, заваренных прутками, загрязненность которых оценивалась баллами I—III, наплавленный металл имел аналогичные по форме и характеру распределения графитовых включений. Чугунные прутки по ГОСТ 2671—70 для газовой сварки и изготовления электродов представляют собой чугун эвтектического и заэвтектического состава с углеродным эквивалентом 4,3—4,8%, получаемом при меньшем содержании углерода (3,0—3,5%) (табл. 11).

Т а б л и ц а 11. Состав чугунных прутков, %

Марка прутка	C	Si	P не более
А	3,0—3,5	3,0—3,4	0,2—0,4
Б	3,0—3,5	3,5—4,0	0,3—0,5

П р и м е ч а н и е. В прутках марок А и Б содержится: 0,08% S; 0,5—0,8% Mn; 0,05% Cr; 0,3% Ni.

Высокое содержание кремния в металле прутков (до 4,0%) должно создавать повышенные возможности графитизации. Отбел поверхности прутков ГОСТом расценивается как показатель отрицательный и при слое, равном 1/6 диаметра прутка, служит браковочным признаком.

Кремний как графитизатор действует не односторонне. С увеличением содержания кремния в чугунных прутках повышается склонность к образованию пористости в наплавленном металле. Увеличенное его содержание приводит к образованию силикокарбидов и глубокому легитрованию феррита, что в условиях

газовой сварки, наплавки, особенно при заварке дефектов небольших и средних размеров, когда расплав образуется и затвердевает в неравных условиях по всему сечению, нередко приводит к повышению твердости (до *HV* 260). При этом наплавленный металл в основной своей массе имеет дисперсную ферритно-перлитную структуру и поддается механической обработке резанием.

При дуговой и газовой наплавке ванным способом, когда жидкая ванна большого объема существует длительное время и затем медленно охлаждается, наплавленный металл имеет твердость *HV* 170—190 и сохраняет ферритно-перлитную структуру (до 80% феррита). Однако во многих случаях требуется обеспечить наплавленный металл в виде перлитного чугуна, и поэтому данные прутки не всегда могут быть использованы. Изыскание оптимального состава чугуна для присадочных прутков и технологии выплавки металла для них показало целесообразность уменьшения содержания кремния в прутках и введения в их состав легирующих добавок. Введение в состав металла прутков до 3,5% *Si* или не меньше 0,3% *P* стабилизировало показатели структуры, твердости и обрабатываемости наплавленного металла. Снизилась также пористость в наплавленном металле.

Беспористый наплавленный металл со структурой и твердостью серого чугуна получен при комплексном легировании никелем, оловом, титаном; никелем, оловом, медью; никелем, титаном, оловом, медью. Приведенные в табл. 12 составы прутков 1; 2; 3 имеют преимущество соответственно: 1) при исправлении дефектов, обнаруженных до и после механической обработки; 2) при исправлении дефектов, обнаруженных на поверхностях, подвергавшихся поверхностной закалке; 3) при исправлении дефектов на поверхностях, подвергаемых шабрению.

Т а б л и ц а 12. Состав низколегированных прутков, %

Марка прутка	<i>C</i>	<i>Si</i>	<i>Ni</i>	<i>Sn</i>	<i>Cu</i>
1	3,2—3,6	3,4—4,0	0,1—0,2	0,3—0,5	—
2	3,0—3,4	3,0—3,6	0,4—0,6	—	2,0—3,5
3	3,0—3,4	3,0—3,6	0,2—0,5	0,1—0,3	1,0—2,0

Пр и м е ч а н и я: 1. Содержание водорода и кислорода во всех случаях не должно превышать 5 см³/100 г (0,00045%) и 0,0065%.

2. В прутках марок 1—3 содержится: 0,4—0,7% *Mn*; 0,1—0,2% *Ti*; не более 0,04% *S*; 0,15% *P*; 0,1 *Cr*.

Дальнейший поиск был направлен на разработку составов прутков, которые при переплавке давали бы в наплавленном металле чугун с перлитной структурой и чугун с шаровидной

формой графита. Введение в чугуны присадочных прутков щелочно-земельных элементов в требуемом количестве и обеспечение их перехода в процессе сварки в наплавленный металл практически невозможно из-за низкой температуры их кипения, так как температура сварочной ванны около 1600°C и температура пламени находится в интервале $2800\text{--}3100^{\circ}\text{C}$. Эти требования в достаточной степени удовлетворяются при введении в чугуны иттрия и церия, для которых свойственны малая упругость диссоциации окислов, большое сродство к кислороду и высокая температура кипения ($\text{Y} - 4600^{\circ}\text{C}$, $\text{Ce} - 3600^{\circ}\text{C}$), намного превышающая температуру сварочной ванны и пламени. Чугунные прутки (табл. 13) позволяют получать наплавленный металл — чугуны с перлитной структурой и равномерной твердостью ($\text{HB } 180\text{--}220$), поддающийся поверхностной закалке (ПЧС-1). В несколько ином составе чугуны прутки обеспечивают в наплавленном металле шаровидную форму графита (ПЧС-2).

Т а б л и ц а 13. Состав чугуновых прутков, содержащих редкоземельные металлы, %

Марка прутка	Si	Y	Ce	Ca
ПЧС-1	1,2—2,3	0,01—0,02	0,03—0,08	0,01—0,02
ПЧС-2	2,4—3,6	0,1—0,4	0,03—0,15	0,03—0,1

Примечание. В прутках содержится: 3,0—3,8% С; 0,2—0,5% Mn; не более 0,08% S; 0,2% P; 0,05% Cr; 0,3% Ni.

Показатели технологичности сварочного процесса могут быть повышены применением чугуновых самофлюсующихся сварочных прутков, позволяющих выполнять газовую сварку чугуна без дополнительного введения флюса в сварочную ванну. Для этого в состав прутков вводят бор, что не вызывает особенных затруднений. Исследовали чугуновые прутки с дополнительным легированием бором до 0,2% и редкоземельными металлами до 0,7%. Совместное введение в присадочный чугун бора, церия, иттрия при их определенном соотношении способствует повышению качества сварного соединения и обеспечивает свойство самофлюсования присадочного материала при сварке. Прутки различных диаметров (6—16 мм) отливают в чугуновые или графитовые кокилы, в оболочковые или песчаные формы, что, безусловно, оказывает влияние на структуру чугуна в изломе.

По ГОСТ 2671—70 излом чугуновых прутков должен быть серым, допускается отбел прутков на глубину до $\frac{1}{8}$ диаметра. По ТУ ВНИИАВТОГЕНМАШ отбел прутков считается браковочным признаком. Однако следует принимать во внимание и размер включений графита. У прутков с грубой структурой чугуна

(темно-серый или серый излом) значительно выше температура в зоне контакта расплава с основным металлом, продолжительность процесса наплавки больше, чем при сварке прутками с отбелом или мелкозернистой структурой (светлый излом).

В процессе наплавки угар углерода и кремния у прутков с грубой структурой значительно превосходит угар их у отбеленных прутков или с измельченной структурой. Это объясняется тем, что в период формирования капли большое влияние оказывает вязкость жидкого чугуна, которая при прочих равных условиях определяется его исходной структурой. Вязкость белого чугуна при температуре 1300° С примерно в 2 раза меньше вязкости серого чугуна того же состава. Это связано с наличием нерастворившихся блоков графита в расплаве чугуна с исходной серой структурой. Процесс растворения графита начинается до расплавления чугуна и зависит от скорости диффузии углерода. В свою очередь, диффузия углерода протекает тем интенсивнее, чем неравномернее он расположен в матрице; в связи с этим диффузия более интенсивна в литом белом чугуне, чем в литом ферритном чугуне.

Таким образом, ледебуритная структура обеспечивает лучшие сварочные технологические свойства прутков и получение наплавленного чугуна с более удовлетворительной структурой и твердостью.

Получение высококачественного наплавленного чугуна и уменьшение опасности появления пор в расплаве и наплавленном металле возможно при минимальном содержании газов в чугуне прутков; уменьшении содержания в чугуне прутков различных неметаллических включений; путем регулирования химического состава чугуна и технологического режима литья.

Изыскание оптимального состава чугуна для присадочных прутков и технологии плавки металла для них позволило получить присадочный металл, обеспечивающий стабильные свойства сварного соединения. Металл для присадочных прутков предпочтительнее всего выплавлять в индукционных печах, обеспечивающих высокую температуру перегрева с регулировкой выдержки металла в жидком состоянии.

При выплавке чугуна в индукционных печах оптимальная температура перегрева в зависимости от конкретных условий составляет 1400—1580° С при выдержке чугуна в печи перед заливкой в формы в течение не менее 15 мин. Повышение температуры перегрева и особенно времени выдержки металла в печи при выплавке чугуна для прутков способствует более полному удалению из него газов и неметаллических включений. В результате уменьшается пористость наплавленного металла при исправлении дефектов отливок. Однако следует учитывать опасность сверхперегрева чугуна.

Исследование микроструктуры наплавленного чугуна выявило, что повышение сверхоптимальной температуры перегрева

и времени выдержки связано с опасностью дезактивации зародышей графитообразования, чрезмерным измельчением графита и возможным образованием структур переохлаждения при сварке.

В качестве примера приведем один из вариантов состава шихты для выплавки металла в индукционных печах (составляющие компоненты шихты даны в частях): перекрестный чугунок М1—110; чугунок лом — 70; ферросилиций — 5; ферробор — 1; редкоземельный модификатор — 1; никель — 1; медь — 5. После полного расплавления металл выдерживают при температуре 1400—1500° С в течение 20—30 мин.

При отсутствии электропечей плавку можно проводить в вагранках с открытыми или закрытыми копильниками. В этом случае состав шихты несколько изменяется (в частях): чугунок литейный ЛК0 или ЛК1—200; чугунок лом — 180; ферросилиций — 5,5; ферробор — 1; никель — 0,5; редкоземельный модификатор — 1; медь — 10. Количество кокса (по сравнению с обычной ваграночной плавкой) увеличивается на 20—30%; металл из первой заливки сливают.

Формами для отливки прутков могут служить металлические или графитовые кокили, при использовании которых достигается наилучшее качество прутков. Прутки диаметром свыше 8 мм отливают без предварительного подогрева кокилей. Возможные при этом отбел и измельчение графита в прутках не учитывают.

Отливка в песчаные формы не обеспечивает чистоту поверхности и металла прутков, поэтому не рекомендуется.

Чугунные электроды представляют собой литые чугунок прутки, покрытые слоем обмазки, наносимой методом окунания. Электроды используют для горячей ручной дуговой сварки чугуна ванным способом. Образование жидкой ванны большого объема и поддержание ее в процессе наплавки в жидком состоянии лучше обеспечивают электроды диаметром 14—16 мм, которые и находят преимущественное применение. В отдельных случаях применяют электроды диаметром 12 мм. Покрытие наносят в один слой окунанием. Толщина слоя покрытия обычно не превышает 1,5—2 мм на сторону. Электрод просушивают на воздухе, после чего прокалывают при температуре 200—250° С.

Составы покрытий электродов должны обеспечивать стабильность горения дуги, равномерность и подвижность шлакового покрова ванны, компенсацию выгорающих элементов чугуна, а также не должны взаимодействовать с огнеупорной формой. В необходимых случаях в состав покрытия вводят специальные легирующие добавки, которые обеспечивают получение наплавленного металла заданного химического состава.

Существует много рецептов составов покрытий чугунок электродов, предложенных в различное время применительно к холодной, полугорячей и горячей сварке. Например, покрытие, применяемое на заводе Станколит, обеспечивает состав наплав-

ленного металла, идентичный составу чугунного стержня (табл. 14).

Т а б л и ц а 14. Состав покрытия чугунных электродов

Компоненты покрытия	Прутки	Наплавленный металл
Графит серебристый — 25	3,3—3,5% С	3,3—3,5% С
Карбид кремния — 40 (карборунд зеленый)	3,4—3,7% Si	3,5—4,0% Si
Плавленый шпат — 30	0,5—0,7% Mn	0,5—0,7% Mn
Алюминиевый порошок — 5	0,12—0,15% P, 0,04% S	0,10—0,15% P, 0,05% S
Жидкое стекло (натровое) к массе сухой смеси — 60	0,05% Cr, остальное Fe	0,05% Cr, остальное Fe

В составе покрытия большое количество графитизаторов. Так как процент угара кремния составляет около 20%, он введен в виде карбида кремния, диссоциирующего в зоне высоких температур с образованием углерода и кремния. Состав электродов изменяют применительно к перлитным и высокопрочным чугунам.

Горячая дуговая сварка чугуна чугунными электродами ванным способом классифицируется как ручной процесс с особо тяжелыми и вредными условиями труда. В связи с этим проведены работы по механизации процесса горячей дуговой сварки ванным способом с использованием порошковой проволоки.

Порошковые проволоки представляют собой трубчатый электрод из свернутой стальной низкоуглеродистой ленты, заполненной порошкообразной шихтой. Проволока характеризуется составом, коэффициентом заполнения (отношение массы шихты к массе проволоки) и конструкцией, изменение которых позволяет регулировать состав наплавленного металла и технологию сварочного процесса.

Порошковые проволоки для механизированной сварки чугуна созданы сравнительно недавно. Первыми их представителями были ППЧ-1 * для сварки без подогрева чугуна и ППЧ-2 * для сварки без подогрева или с подогревом чугуна. Диаметр проволоки 3 мм. В состав шихты введены графит (аморфный), ферросилиций, ферромарганец, ферротитан, порошок алюминия и железа (табл. 15).

С целью совершенствования механизированной сварки ванным способом исследованы основные металлургические и технологические параметры процесса. Исследовали приведенные выше марки порошковых проволок, рекомендованных к промышленному применению. Оценивали сварочные технологические характеристики проволок (равномерность расплавления, формирование

* В настоящее время ППАНЧ-1 и ППАНЧ-2.

металла при сварке, стабильность горения дуги и др.). В процессе исследования установлена непригодность проволоки ППЧ-1 для выполнения горячей сварки чугуна, так как на поверхности ванны образовывались тугоплавкие шлаки и графитовая спель. Структура наплавленного металла представляла феррит с заэвтектическим графитом.

Т а б л и ц а 15. Состав порошковых проволок, %

Марка проволоки	C	Si
ППЧ-1	7,0—7,5	4,0—4,5
ППЧ-2	5,7—6,5	3,3—4,0

П р и м е ч а н и е. В проволоках содержится: 0,4—0,8% Mn; 0,4—0,6% Ti, 0,6—0,9% Al; Fe — остальное.

Проверяли причины нестабильности легирования углеродом и кремнием наплавленного металла при использовании проволоки марки ППЧ-2. В начале изменение состава наплавленного металла считали следствием плохого заполнения проволоки порошкообразными легирующими компонентами (ферросилицием и аморфным графитом), в связи с чем исследовали влияние коэффициента заполнения проволоки (k_3) на усвоение углерода, кремния и марганца в наплавленном металле. Эксперименты выполняли путем механизированной наплавки в глиняную форму порошковыми проволоками состава ППЧ-2, отличающимися коэффициентами заполнения: 11, 16, 23, 27 и 32%. Наплавку осуществляли на режимах: сила тока дуги 700 А, напряжение 35—40 В скорость подачи проволоки 300 м/ч.

Экспериментами установлено, что коэффициент заполнения $k_3 = 20 \div 24\%$ в наибольшей мере соответствует условиям сварки ванным способом. С увеличением k_3 ухудшается технологичность процесса наплавки, выражающаяся в появлении на поверхности ванны графитовой спели; уменьшается и коэффициент усвоения наплавленным металлом элементов (особенно углерода и марганца). При снижении k_3 не достигается требуемый состав наплавленного металла. Наплавка различных объемов металла проволокой одного и того же состава приводит к заметному изменению состава наплавленного металла. С увеличением объема ванны повышается содержание углерода и кремния в наплавленном металле. Последнее, очевидно, является следствием увеличения времени существования сварочной ванны, что способствует полноте протекания металлургических процессов.

Для подтверждения этого предположения возникла необходимость исследовать легирование при сварке чугуна порошковой проволокой с учетом анализа усвоения элементов на разных стадиях протекания процесса, а именно — в период образования

капель при плавлении проволоки и в период существования сварочной ванны.

Эксперименты выполняли путем наплавки порошковой проволокой состава ППЧ-2 на вращающийся медный диск, что позволяло отобрать образующиеся капли расплавленного сплава (с медного диска капли сбрасывались в воду) и металла, наплавленного в медную форму. Наплавку выполняли на вышеприведенных режимах. Металл собранных капель и наплавленный в медную форму подвергали металлографическому и химическому анализу. Микроструктура капель — крупногольчатый мартенсит.

Как выяснилось, наибольшее количество углерода усваивается в сварочной ванне (~70%). При наплавке в медную форму варьировали время сварки, что позволило установить зависимость усвоения углерода в наплавленном металле от времени существования сварочной ванны (табл. 16).

Т а б л и ц а 16. Усвоение углерода в зависимости от длительности существования расплава

Время наплавки, с	Скорость охлаждения, °С	Время существования сварочной ванны, с	Содержание углерода в наплавленном металле, %	Время наплавки, с	Скорость охлаждения, °С	Время существования сварочной ванны, с	Содержание углерода в наплавленном металле, %
5	261,0	1,7	2,71	35	27,0	18,1	2,87
10	109,3	4,2	2,71	40	19,1	23,2	3,00
15	64,1	7,3	2,81	50	13,4	28,1	3,05
20	44,4	12,0	2,81	85	6,9	71,3	3,05

Увеличение времени существования сварочной ванны способствует повышению содержания углерода в наплавленном металле, так как увеличивается время контакта жидкого металла с расплавленной шихтой порошковой проволоки, это способствует большей полноте протекания диффузионных процессов. Верхняя часть расплава более длительное время пребывает в жидком состоянии, медленнее охлаждается, что может вызвать неравномерность химического состава в массе наплавленного металла. Технология процесса горячей сварки чугуна ванным способом должна учитывать это обстоятельство.

Таким образом, порошковая проволока, предназначенная для сварки ванным способом требует корректировки состава с целью улучшения сварочных технологических свойств, повышения коэффициента наплавки и улучшения стабильности легирования наплавленного металла углеродом, кремнием и марганцем. Получение заданного состава наплавленного металла во многом зависит от легирующих компонентов, применяемых при изготовлении соответствующих присадочных материалов. При горячей

механизированной сварке чугуна это прежде всего относится к кремне- и углеродосодержащим компонентам.

Совместное введение углерода и кремния в наплавленный металл затруднено, что объясняется высоким сродством к кислороду этих элементов и снижением растворимости углерода в жидком металле при высоком содержании кремния, поэтому указанные элементы вводили в состав проволок отдельно.

Поскольку исследуемые составы порошковых проволок не отличались достаточной стабильностью в отношении химического состава наплавленного металла, особенно по углероду, возникла необходимость в изыскании новой углеродосодержащей лигатуры. Исследовали следующие содержащие углерод компоненты:

графит кристаллический (серебристый углерод 82%) зерновой состав 0,16, остаток на сите 40%;

древесный уголь, 57% твердый углерод, зерновой состав 0,16, остаток на сите не более 20%;

порошок карбида кремния (зеленый карборунд марки КЗ-6), 70% Si и 29% C.

графит аморфный 78% C; зерновой состав 0,63 с остатком не более 10%;

сажа газовая (99,8% C);

кокс литейный каменноугольный 83% C; зерновой состав 0,16 с остатком не более 12%;

нефтяной кокс (прокаленный при 1000° C) марки КНПС; 96% C; зерновой состав 0,16 с остатком не более 10%;

кокс сланцевых смол (прокаленный при 1000° C) 99,2% C; зерновой состав 0,16 с остатком не более 10%.

Указанные компоненты вводили в покрытие сварочных электродов из проволоки Св-0,8 диаметром 5 мм. Состав покрытия: 15% мрамора; 79% плавикового шпата; 1% поташа, 5% испытуемого углеродосодержащего компонента, жидкое стекло натровое 25% к массе сухой смеси компонентов. Электроды испытывали путем наплавки в медный кокиль ванным способом на постоянном токе силой 160 А при обратной полярности.

Проведение химического анализа наплавленного металла позволило определить коэффициенты усвоения углерода (k_y) для различных углеродосодержащих компонентов:

$$k_y = \frac{|C|_{\text{ш}}}{|C|_{\text{э}} + |C|_{\text{п}}},$$

где $|C|_{\text{ш}}$ — аналитическое содержание углерода в наплавленном металле и $|C|_{\text{э}}$ — в электродной проволоке; $|C|_{\text{п}}$ — содержание углерода (в пересчете на чистый углерод) в покрытии электродов.

Результаты экспериментов показали (табл. 17), что наибольшее усвоение углерода при дуговой наплавке электродами обеспечивают зеленый карборунд, нефтяной кокс и кристаллический графит. Аморфный графит в идентичных условиях сварки отличается самым низким коэффициентом усвоения углерода.

Таблица 17. Усвоение углерода при дуговой сварке из углеродосодержащих компонентов покрытия

Углеродосодержащие компоненты	Отношение массы покрытия к массе стержня, %	Среднее содержание углерода, %		Коэффициент усвоения углерода $k_{ус}$
		в наплавленном металле	в сварочной проволоке	
Графит:				
кристаллический	25,0	0,37	0,06	0,346
аморфный	24,0	0,14	0,05	0,111
Кокс:				
каменноугольный	24,8	0,15	0,03	0,139
нефтяной	24,8	0,44	0,04	0,360
сланцевых смол . . .	24,0	0,42	0,05	0,335
Уголь древесный	23,2	0,08	0,02	0,112
Сажа	24,5	0,26	0,09	0,220
Карбид кремния	24,5	0,53	0,08	0,410

Дальнейшая оценка углеродосодержащих компонентов показала непригодность применения нефтяного кокса в качестве лигатуры для дуговой сварки чугуна. Введение его в электродное покрытие и в порошковую проволоку вызывало образование пористости в наплавленном металле, что, по-видимому, связано с высоким содержанием в коксе водорода. Попытка использования карбида кремния (карборунда) в порошковой проволоке не была успешной. Протяжка проволоки затруднялась, так как карборунд — сильный абразив, вызывал интенсивный износ фильера на ступенях обжата при изготовлении проволоки.

Хорошие результаты получены при применении кристаллического графита, введение которого в состав порошковой проволоки обеспечивало относительную стабильность легирования наплавленного металла углеродом и хорошую технологичность изготовления проволок. Опробование опытных порошковых проволок позволило выбрать наиболее оптимальный состав шихты: 26% графита кристаллического; 23% ферросилиция, 4% ферромарганца; 1% алюминиевого порошка; 40% железного порошка; 6% окалины железа. Порошковой проволоке указанного состава была присвоена марки ППЧ-3. Высокие значения сварочного тока и скорости подачи проволоки, применяемые при горячей механизированной сварке ванным способом, показали необходимость повышения электропроводности проволоки. Такая задача была решена путем армирования внутренней заполненной шихтой полости одной — тремя проволоками сплошного сечения (рис. 7). Коэффициент заполнения 20—23%.

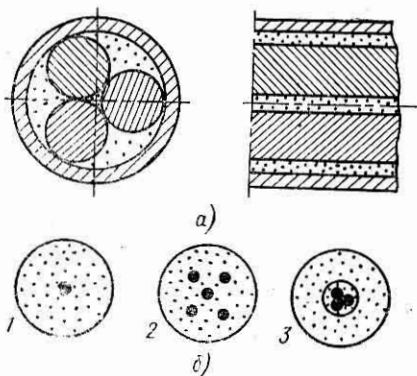
Такое усовершенствование позволило уменьшить электросопротивление проволок и, следовательно, повысить удельную плотность сварочного тока в ее сечении; повысить при одних и тех же параметрах сварки (по сравнению с неармированной про-

волокой) производительность процесса (повысить коэффициент наплавки); улучшить условия легирования наплавленного металла углеродом и кремнием за счет повышения растворения легирующих элементов. Использование армирующих проволок позволило исключить из состава шихты железный порошок. Технологичность протяжки порошковой проволоки повысилась в связи с ее значительным упрочнением. Порошковой проволоке (армированной) присвоена марка ППЧ-3М. Наплавленный металл в обоих случаях имел ферритно-перлитную структуру (40—60% феррита).

В дальнейшем были разработаны проволоки с меньшим содержанием кремния, дающие возможность получать наплавленный

Рис. 7. Конструкции порошковых проволок:

a — армированная проволока:
 1 — оболочка; 2 — низкоуглеродистая проволока; 3 — шихта;
b — проволока диаметром 5 мм с коэффициентом заполнения 10—12%: 1 — диаметр армирующей проволоки 2 мм, содержание в наплавленном металле 2,8—2,9% С; 2 — диаметр армирующей проволоки 0,8 мм; содержание в наплавленном металле 3—3,2% С; 3 — шихта под внешней оболочкой содержит повышенное количество серебрянистого графита; содержание в наплавленном металле 3,2—3,4% С



металл, соответствующий чугунам с перлитной структурой и чугунам с шаровидным графитом (см. табл. 7).

С целью повышения эффективности механизированной сварки ванным способом исследовали влияние некоторых электрических и технологических параметров способа (силы тока, скорости подачи проволоки и др.) на производительность и качество сварочных работ.

Производительность процесса сварки (Q г/ч) определяется сварочными технологическими параметрами: $Q = I\alpha$, где I — сила тока дуги, α — коэффициент наплавки, г/А·ч).

Эксперименты выполняли наплавкой ванным способом искусственно созданных дефектов на специальные чугунные образцы порошковыми проволоками ППЧ-3 и ППЧ-3М (простого и сложного сечения). В качестве источников тока применяли сварочный выпрямитель ВДМ-1601. Установлена зависимость сварочного тока от скорости подачи порошковой проволоки.

На рис. 8, *a*, где показана экспериментальная зависимость для проволоки простого профиля, выделены четыре области (зоны), характеризующие стабильность процесса. Зона I — зона нестабильного горения дуги. Наиболее оптимальные значения режимов

сварки отражает зона II — рабочая зона. При скорости подачи проволоки $v_{пр}$ более 320 м/ч (зона III) на поверхности ванны наблюдается выделение дисперсных графитных частиц (графитная спель), которые, как показал микроанализ, выделяются в виде колоний и внутри объема наплавленного металла, нарушая его плотность. Дальнейшее повышение скорости подачи проволоки приводит к короткому замыканию (зона IV).

Аналогичная зависимость при сварке чугуна проволокой сложного профиля приведена на рис. 8, б. Сварка армированной порошковой проволокой позволяет применять более высокие значения сварочного тока, что заметно расширило зону II (рабочую) и повысило производительность процесса. Однако и в том

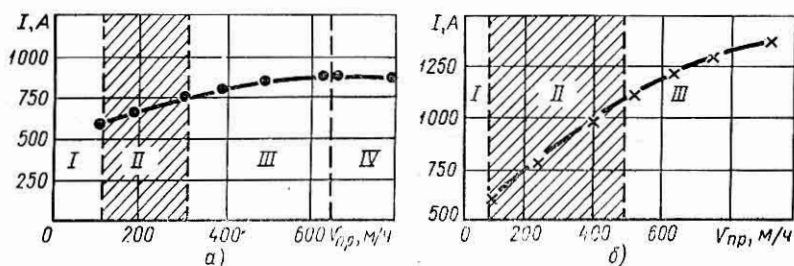


Рис. 8. Зависимость сварочного тока от скорости подачи порошковой проволоки

и в другом случае производительность процесса составляла 15—17 кг/ч и соответствовала примерно производительности ручной дуговой сварки ваннам способом чугунными электродами диаметром 14—16 мм.

В дальнейшем способ механизированной сварки усовершенствовались введением в зону сварки одновременно трех порошковых проволок. Это потребовало создания специальной конструкции сварочного устройства (подающего механизма) и держателя, рассчитанных на высокие значения сварочного тока. При сварке тремя проволоками возможно значительно увеличить значения сварочного тока (до 1400—1500 А), расширить диапазон подачи порошковых проволок и, следовательно, существенно повысить количество наплавленного металла до 60 кг/ч (рис. 9). Сварка специально разработанной в последнее время порошковой проволокой увеличенного диаметра (4,5—5,5 мм) по производительности не уступает сварке тремя проволоками, требующей специального оборудования для подачи трех проволок. Первое внедрение порошковой проволоки увеличенного диаметра показало целесообразность широкого ее внедрения.

Сварочные материалы группы II. В отличие от сварки общей ванной при горячей сварке процессы холодной дуговой сварки чугуна осуществляют преимущественно наплавкой валиками. Длительность существования сварочной ванны в жидком состоя-

нии при укладке валиков исчисляется секундами, т. е. создается быстротечный микрометаллургический процесс. Плавление и затвердевание протекает с участием (как и в каждом металлургическом процессе) двух жидких несмешивающихся сред — расплава металла и расплава окислов элементов (шлаки). Основной металл в зоне воздействия дуги расплавляется и смешивается с металлом электрода. Металлургические процессы в сварочной ванне завершаются кристаллизацией наплавленного металла, протекающей в условиях очень быстрого охлаждения. Прилегающие слои основного металла претерпевают термическое воздействие, образуя зоны температурного влияния, в которых изменяется структура металла и концентрируются сварочные напряжения.

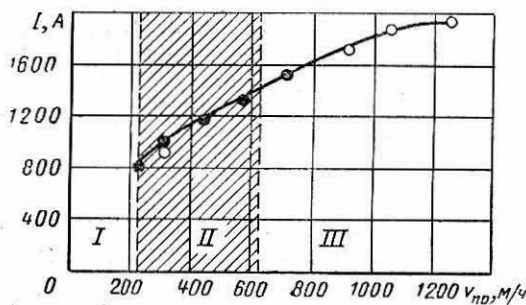


Рис. 9. Зависимость сварочного тока от скорости подачи трех порошковых проволок

С учетом обрабатываемости, плотности, прочности, цвета наплавленного металла при холодной сварке чугуна, а также стойкости в агрессивных средах и общего товарного вида сварного соединения разработаны многочисленные марки электродов. В мировой и отечественной практике в качестве металла электродов используют никель, медь, их сплавы с добавками легирующих компонентов, придающих наплавленному металлу специальные свойства. Находят также применение электроды с высоким содержанием железной составляющей.

Общим для всех видов электродов является оценка показателей обрабатываемости наплавленного металла. В оценке ее обычно исходят из внешних признаков, которые выявляются при прохождении реза. Если стружка снимается плавно и резец не отжимается, преодолевая зону сплавления и наплавленный металл, то это служит признаком хорошей обрабатываемости. Могут быть случаи, когда основной и наплавленный металлы имеют одинаковые показатели обрабатываемости, но в зоне сплавления резец отжимается, образуя порожек, или, проходя по наплавленному металлу, резец оставляет неровный (рваный) след, а обработанная поверхность становится шероховатой с грубыми выступами. Это может послужить причиной неудовлетворительной оценки обрабатываемости.

Величину зоны повышенной твердости можно регулировать применением специальных электродов и технологическими приемами процесса сварки; многие неполадки, возникающие при обработке резанием, могут быть устранены собственно процессом резания. Никель, цветные металлы, низкоуглеродистая сталь существенно отличаются от чугуна по вязкости и другим свойствам. При механической обработке наплавленного слоя из таких металлов резец с профилем заточки для чугуна, т. е. хрупкий металл, увязает в нем и образует задиры. Чем больше толщина снимаемого за один проход металла, тем ощутимее различие в обрабатываемости основного и наплавленного металлов, не исключается отрыв наплавленного, и, наоборот, чем тоньше снимаемый слой, тем незаметнее становится различие вязкости металла. Толщину слоя 4 мм принято считать максимально допустимой. При толщине снимаемого слоя, измеряемого долями миллиметра, наплавленный металл вообще мало отличается от основного.

Исходя из сказанного, необходимо излишек наплавленного металла на обрабатываемых поверхностях снимать заподлицо с основным или занижать его. На обработанных поверхностях финишные операции обработки выполняют после выравнивания наплавленного металла под шуп 0,05 мм.

Электроды на никелевой основе широко распространены, а положительное влияние никеля на структуру наплавленного металла общеизвестно. Никель растворяется в основной металлической массе чугуна и его влияние объясняется главным образом воздействием на металлическую матрицу.

Обладая графитизирующей способностью, никель влияет на распад цементита с образованием графитовой эвтектики и вызывает образование аустенитной структуры в металле шва. При этом степень метастабильности структуры сварного соединения понижается с повышением содержания в металле шва никеля. По указанным причинам никель оказывает благоприятное влияние на уменьшение отбела в зоне сплавления. Со стороны основного металла наблюдаются небольшие прослойки ледебуритных выделений, размеры которых можно свести до минимума путем использования электродов с малой проплавливающей способностью и соблюдением при сварке определенных технологических приемов.

Никель расширяет область γ -фазы, увеличивает устойчивость аустенита тем сильнее, чем в большем количестве он находится в чугуне. При значительных количествах никеля устойчивость аустенита увеличивается, и при относительно малых скоростях охлаждения структура основной металлической массы чугуна становится аустенитной, и, следовательно, образования ферритно-карбидной смеси не происходит.

В условиях высокой скорости охлаждения в присутствии значительного количества никеля сплав переводится в заэвтектический и образование графита при эвтектическом превращении

происходит с большими скоростями с повышенным количеством центров графитизации и степени дисперсности графита. При значительном количестве никель, как и кремний, является элементом, компенсирующим скорость охлаждения, ни прямым, ни косвенным путем не вызывающим карбидообразование. При больших скоростях охлаждения графит преимущественно располагается в междендритном пространстве.

При сварке основной металл в зоне действия дуги расплавляется на глубину 0,5—1,5 мм. Расплав электродного металла, содержащий большое количество никеля, взаимодействует с расплавленным чугуном. Наплавленный металл — вязкий, легко поддающийся механической обработке, и лишь зона сплавления отличается повышенной твердостью. Чем больше доля расплавленного основного металла, тем ощутимее зона сплавления, и, наоборот, при незначительном расплавлении основного металла можно получить настолько малую полоску зоны сплавления, что она не скажется на обрабатываемости. Использование специальных покрытий электродов обеспечивает высокую плотность наплавленного металла.

Никелевые электроды на чисто никелевой проволоке или с небольшими легирующими добавками приобретают все большую популярность при сварке чугуна. Они распространены за рубежом и широко рекламируются фирмами Кастолин (Швейцария), УТП (ФРГ) и др.

Задача уменьшения зоны взаимодействия электродного и основного металлов решается путем создания специальных электродов, обладающих малой проплавливающей способностью (электроды марок ОЗЧ-3 и ОЗЧ-4). Малое расплавление основного металла достигается так же уменьшением эффективной мощности источника плавления и увеличением скорости сварки, т. е. снижением погонной энергии q . Применяют электроды малых диаметров (2; 2,5; 3 мм) и минимальные силы тока ≈ 45 А.

Изучая возможности дальнейшего снижения теплопередачи в основной металл Ю. Я. Грецкий установил, что определенными возможностями для этого располагает механизированная сварка открытой дугой тонкой проволокой (диаметром 1—1,2 мм). Устойчивый процесс обеспечивается примерно при тех же значениях q (1200—1400 Дж/с), что и штучными электродами, но имеется возможность значительно (в 2—3 раза) снизить погонную энергию и получить жесткий термический цикл за счет увеличения скорости сварки. Им разработана электродная самозащитная никелевая проволока ПАНЧ-11, которая обеспечивает пластичный, без горячих трещин и пор металл шва, а в зоне сплавления — отсутствие ледебурита. В зоне термического влияния, как всегда при сварке чугуна без подогрева, имеются продукты неравновесного распада аустенита — троостит, мартенсит, что несколько повышает твердость. Однако ширина такой зоны незначительна (50—100 мкм).

К числу положительных факторов следует отнести также стойкость наплавленного металла против кристаллизационных трещин, что достигается путем нейтрализации вредных примесей, поступающих в сварочную ванну из основного металла, исключение грубых прослоек по границам зерен и придание неметаллическим включениям компактной формы. Сварку выполняют на постоянном токе прямой полярности («—» на электроде), проволокой диаметром 1,2 мм; $I_{св} = 100 \div 140$ А; $U = 14 \div 18$ А; $v_{св} = 0,15 \div 0,25$ см/с. В качестве источников питания используют ВС-200, ВС-300 или преобразователь с жесткой характеристикой, полуавтоматы А-547, А-547у, А-825.

Железникелевые электроды марки ОЗЖН-1 на проволоке Св-08Н50 диаметрами 3; 4; 5 мм производят централизованно. Наплавленный металл плотный, обладает повышенной пластичностью, цвет близок к цвету чугуна. На границе с железникелевой наплавкой в основном металле наблюдается троостит, местами в троостите имеются дисперсные включения ледебурита глубиной не более 0,014 мм; далее сорбитообразный перлит с включениями троосто-мартенсита глубиной до 0,4 мм. Наплавленный металл имеет аустенитную структуру, что положительно сказывается на его пластических свойствах. По цвету слой мало отличается от цвета материала отливки. Твердость наплавленного металла $HВ$ 170—200, переходной зоны $HВ$ 180—240.

Медноникелевые электроды марки МНЧ-2 на проволоке МНЖМц 28-2,5-1,5 со специальным покрытием диаметрами 3; 4; 5 и 6 мм производят централизованно. При сварке чугуна электроды обладают необходимыми показателями технологичности — зажигание дуги легкое, с одного прикосновения, горение дуги стабильное, почти без разбрызгивания, шлаки легкие, подвижные, не мешающие визуальному контролю за процессом наплавки. Отделяемость шлака хорошая, валик имеет форму полусферы без образования подрезов. Электроды позволяют выполнять сварку на малых токах, обеспечивают малое проплавление основного металла. В то же время сварное соединение обладает высокими показателями прочности, плотности и пластичности. Стоек в агрессивных средах, водных растворах солей, щелочей, органических соединений, пара и горячих газов.

Расход электродов МНЧ-2 в различных отраслях промышленности велик и потребность в их централизованных поставках удовлетворяется не полностью, поэтому не теряет актуальности производство литых прутков на местах, а также использование проволок из сплавов на медно-никелевой основе.

Соотношение меди и никеля в электродах может изменяться в больших пределах, внося некоторые изменения в показатели качественных характеристик наплавленного металла. Сравнивали три вида сплавов составов: монель-металл, мельхиор (двухкомпонентный), типа мельхиор с различными добавками (табл. 18, 19).

Т а б л и ц а 18. Составы сплавов на медно-никелевой основе, %

Сплав	Ni	Cu	Fe	Mn	Si	Mg
Монель-металл	67—69	27—29	2,5	1,5	0,2	0,2
Мельхиор	20	80	—	—	—	—
Сплав (экспериментальный)	20	76	1,5	1,0	0,2	0,2

Т а б л и ц а 19. Физико-механические свойства сплавов на медно-никелевой основе

Показатель	Монель-металл	Мельхиор	Сплав (экспериментальный)
Температура, °С:			
заливки	1500	1300	1300
плавления	1350	1190	1200
Коэффициент линейного расширения при 20° С	$14 \cdot 10^{-6}$	$16 \cdot 10^{-6}$	$15 \cdot 10^{-6}$
Удельное омическое сопротивление, Ом·мм ² /м	0,425	0,287	0,300
Предел прочности на разрыв, кгс/мм ² :			
кованых образцов	45—50	39—40	40—41
литых образцов	35	28	30
Относительное удлинение, %:			
кованых образцов	22	26	25
литых образцов	15	20	18
Твердость наплавленного металла, HB	135	70	75

Примечания: 1. Предел прочности при растяжении сварных соединений СЧ 28-40 24—26 кгс/мм².

2. Обрабатываемость сварных соединений (электроды диаметром 6 мм) удовлетворительная.

Приведенные данные показывают возможность изготовления электродов на базе литых прутков и проволок из медно-никелевых сплавов. Отливаемые прутки имеют диаметр 6—8 мм, для применения которых требуется соответственно повышенная сила тока.

Медно-стальные электроды марки ОЗЧ-2 с покрытием на базе гематита с железным порошком диаметром 3; 4, 5 мм производят централизованно. Оптимальным соотношением меди и железа в электроде принято 88—90% Cu и 10—12% Fe. Компоненты покрытия создают шлаковый покров с кислой основой. Образующиеся сварочные шлаки подвижны и легко отслаиваются, наплавленный металл плотный, вязкий и прочный. Предел прочности сварных соединений 24—26 кгс/мм². Наплавленный металл имеет характерный красный оттенок.

При плавлении медно-стального электрода и перемешивания его с основным металлом в сплаве образуется выгодное сочетание: медь не образует соединений с углеродом и обуславливает вязкость и пластические свойства шва; железная составляющая электрода претерпевает значительное науглероживание. При этом пластические свойства шва снижаются, но в то же время увеличивается прочность и твердость.

При сварке медно-стальными электродами структура наплавленного металла представляет собой микромеханическую смесь двух составляющих — высокоуглеродистой стали, легированной медью (с содержанием до 1% Cu), и меди (избыточной). Стальная составляющая в медной основе распределяется неравномерно в виде мелких шаровидных включений и в виде отдельных гнезд крупных скоплений, располагающихся ближе к границе расплавления.

Из рассмотрения диаграммы бинарного сплава Cu—Fe, которую можно использовать для изучения температур плавления медной и железной составляющих, следует что область температур, приближающихся к температуре плавления и интервалу кристаллизации чугуна, соответствует содержанию 90—95% Cu и 10—5% Fe. Содержание 5—6% Fe практически определяет образование твердого раствора. Следовательно, для системы Cu—Fe оптимальным сплавом нужно считать сплав меди и железа, содержащий примерно 8—12% Fe.

Исследования, проведенные К. К. Хреновым и Ф. С. Вольфовской, с целью определения соотношения меди и железа в электроде, которое обеспечивает получение однородной структуры наплавленного металла, показали, что при содержании железа в электроде 2,5; 3,4; 9,7; 18,2; 23,2% от общей массы стержня во всех шлифах в зоне сплавления наблюдалась прослойка отбеленного чугуна.

В металле, наплавленном электродами с содержанием железа 23,2; 18,2; 9,7%, стальная фаза залегала в меди в виде слоев или больших и мелких капель со структурой мартенсита или троостита. Шов, наплавленный электродом с содержанием 3,42% Fe, состоял из твердого раствора стали в меди с избыточной стальной фазой, содержащейся в наплавке в виде мелких капель. Electroды с содержанием 2,5% Fe образовывали в наплавленном металле однородную структуру без избыточной стальной фазы. Металл, наплавленный этими электродами, хорошо поддавался обработке резанием.

В условиях сварки медно-стальными электродами медь не проявляет себя как активный графитизатор; этим можно объяснить высокую твердость металла в зоне сплавления. Уменьшение содержания железа в электроде до 5% не избавляет от образования твердой прослойки в зоне сплавления. Победитовый резец при обработке в зоне сварки отжимается и на этих местах образуется порожек по всей длине шва.

Обрабатываемость сварного соединения, выполненного медно-стальными электродами, при исправлении литейных дефектов неудовлетворительна. С добавкой к медно-стальному электроду даже незначительного количества никеля сварное соединение приобретает удовлетворительную обрабатываемость. Изменение содержания железа и меди в электродах оказывает влияние на вязкость и прочность сварного соединения. С увеличением содержания железа в электроде уменьшается вязкость наплавленного металла, но увеличивается его прочность. При 10—12% Fe вязкость наплавленного металла и прочность сварного соединения оказываются достаточными, чтобы противостоять возникающим в процессе сварки напряжениям или пластически деформироваться. Сварку можно выполнять в жестком контуре, когда усадка шва не может компенсироваться за счет перемещения свариваемых частей. При 30% Fe пластические свойства шва снижаются настолько, что в случае жесткого соединения в шве могут образоваться трещины.

При испытании на разрыв образцы разрушались по основному металлу, вблизи зоны термического влияния, с показателями на 15—20% ниже прочностных показателей основного металла. Ударная вязкость превосходила ударную вязкость основного металла.

Высокая надежность сварных соединений привлекает внимание производителей к медно-стальным электродам. При недостаточном обеспечении электродами ОЗЧ-2 возникает кустарное производство медно-стальных электродов, как-то: медных стержней с оплеткой из мягкой жести; стального стержня с медной оболочкой в виде медной оплетки или медной трубки; спаренных медных и стальных стержней; пучка медных и стальных стержней. Ориентировочное соотношение основных составляющих электрода: 10—20% Fe, 90—80% Cu.

В качестве железной составляющей при кустарном изготовлении электродов применяют низкоуглеродистую сталь, а в качестве медной составляющей — медь любых марок (М2, М3 и др.). Выбор той или иной разновидности электродов при различного рода работах определяется не преимуществами одной разновидности перед другой, а прежде всего наличием на предприятии исходных материалов.

Учитывая, что электроды кустарного изготовления не могут в полной мере обеспечить качество и надежность сварного соединения, их использование следует всемерно сокращать за счет увеличения использования электродов промышленного изготовления.

Вызывает интерес самофлюсующая медная проволока диаметром 1,5—2 мм, разработанная для полуавтоматической сварки чугуна в углекислом газе. При сварке используют режимы, обеспечивающие минимальное тепловложение в основной металл. Наплавленный металл плотный. Свариваемость хорошая.

Стальные электроды АН-1 на проволоке Св-08 с тонким покрытием состава: 87% титанового концентрата; 10% марганцевой руды; 3% калиевой селитры, выпускают диаметром 3; 4; 5; 6 мм и применяют для декоративной заварки, т. е. заварки дефектов на необрабатываемых поверхностях отливок, когда к наплавленному металлу не предъявляется условие обрабатываемости резанием. Наплавленный металл науглероживается за счет углерода расплавленного чугуна. Слои науглероживаются неравномерно. Полученные стали с различным содержанием углерода имеют различные усадочные характеристики и структуру, что в условиях высоких скоростей охлаждения обуславливает образование микротрещин, высокую твердость; наплавленный металл затачивают наждачным кругом.

Для целей декоративного исправления дефектов пригодны тонкопокрытые электроды различных марок, выпускаемых промышленностью или изготовляемых предприятиями для собственного потребления, например электроды на низкоуглеродистой проволоке с покрытием: 79% мрамора (мела); 10% ферромарганца; 10% плавикового шпата; 1% двуххромовокислого калия. Не рекомендуется применять стальные толстопокрываемые (качественные) электроды, работа которыми сопряжена с более значительной глубиной проплавления основного металла и образованием толстого слоя шлакового покрытия, что противопоказано при холодной сварке чугуна.

Стальные электроды ЦЧ-4 на проволоке Св-08 со специальным покрытием выпускают диаметром 3; 4; 5; 6 мм. Введенный в состав покрытия ванадий взаимодействует с углеродом расплавленного чугуна и легирует металлическую основу. Карбиды ванадия присутствуют в чугуне в виде дисперсных включений.

При сварке электродами ЦЧ-4 серого чугуна с пластинчатым графитом в переходной зоне наблюдается преимущественно точечный графит. Микроструктура переходной зоны при этом следующая: на границе с наплавленным слоем — ледебурит глубиной 0,06—0,24 мм; игольчатый мартенсит + остаточный аустенит + троостит + графит глубиной 0,6—1 мм; сорбитообразный перлит глубиной до 1,4 мм. Сварное соединение плотное, но отличается неудовлетворительной обрабатываемостью.

Стальные электроды ЦЧ-5 на проволоке Св-08 со специальным покрытием состава: 8% мрамора; 14% плавикового шпата; 20% графита серебристого; 40% зеленого карборунда; 10% чугунного порошка; 7% алюминиевого магниевых порошка; 1% поташа; 30% жидкого стекла (от массы 100). Отношение массы покрытия к массе стержня (диаметром 3—6 мм) 21—23%. Электроды разработаны для получения наплавленного металла в виде чугуна и могут успешно заменять электроды с чугунным стержнем при заварке мелких дефектов. В условиях наплавки ванным способом на горячую деталь удастся получать стабильные результаты по структуре, твердости и плотности металла.

Имеются многочисленные рекомендации электродов со специальными графитизирующими покрытиями для холодной сварки чугуна. Неподкрепленные практической целесообразностью разработки не обновили технологические процессы сварки чугуна. При исправлении дефектов в отливках и деталях на обрабатываемых поверхностях они не находят применения из-за непостоянства качественных показателей наплавленного металла.

Электроды ЦЧ-5 разработаны с учетом наплавки на подогретый чугун. Их используют при разработке керамических стержней для механизированной сварки чугуна, они прошли серьезные практические испытания и конкурентноспособны в получении высоких качественных показателей с механизированной сваркой порошковой проволокой или проволокой сплошного сечения с присадкой керамических стержней.

Заслуживают внимания работы, проведенные П. С. Елистратовым, по разработке электродов типа СЧС для сварки чугуна с получением наплавленного металла в виде мягкой стали. Электроды СЧС на проволоке Св-08 с покрытием, в состав которого входят компоненты, содержат большое количество кислорода, легко выделяющегося в зоне сварочной дуги (оптимальный состав: 50% мрамора; 50% гематита, относительная масса покрытия 40%). В условиях высокотемпературной фазы, особенно в момент диссоциации компонентов, сродство кислорода к углероду больше, чем к основному элементу. Окисленный углерод удаляется в виде газа; термическая диссоциация с выделением избыточного кислорода протекает также и в области технологических температур.

Большая толщина покрытия и высокие значения сварочного тока, применяемого для сварки электродами СЧС, не позволяли установить оптимальные пределы технологичности электродов, поэтому рациональная область их использования — предмет дальнейших исследований.

А. И. Зеленев предложил для холодной сварки чугуна чугунными электродами по слою флюса составы гранулированной шихты, например 45% чугуновой стружки и 20% ферросилиция. Используя шихту и чугунные электроды, удавалось получить наплавленный металл в виде чугуна. Однако характеристика полученного чугуна и рациональная область использования шихты не установлены. Имеются и другие рекомендации, однако они практического применения пока не нашли, так как в условиях холодной сварки чугуна оказались нетехнологичными. Слой шихты или флюса удерживает теплоту, сообщаемую изделию в процессе сварки, интенсифицирует местный перегрев металла. Создаются условия накапливания напряжений и образования трещин. При этом не гарантируется постоянство качественных показателей наплавленного металла.

В материалах для газопорошковой наплавки за основу был взят никель. Никелевые сплавы имеют высокую устойчивость

против окисления и при легировании, например, бором и кремнием, обладают самофлюсующими свойствами, а также имеют температуру плавления, близкую к температуре плавления чугуна, и по цвету совпадают с последним.

К порошкам предъявляются следующие требования: они должны обладать самофлюсующими свойствами за счет специальных легирующих добавок; при наплавке они должны обеспечивать наплавленный металл по твердости, близкой к твердости серого чугуна ($HB\ 170-240$), и иметь цвет, близкий к цвету чугуна.

Для придания наплавочным порошком самофлюсующих свойств в них вводят элементы-раскислители с сильным химическим сродством к кислороду. Эти элементы должны обладать достаточно высокой температурой кипения и высокой поверхностной активностью. Элементы, придающие порошковым сплавам самофлюсующие свойства, должны восстанавливать окислы (Me_nO_m), имеющиеся на основном металле, образуя более легкоплавкие окислы (ниже рабочей температуры наплавки) по реакции



Жидкие окислы должны иметь меньшую плотность, чем наплавляемый металл, что необходимо для защиты последнего от окисления. В качестве флюсующих добавок используют кремний и бор. Бор — энергичный раскислитель, уступающий по своей активности только барию, магнию, алюминию и бериллию. Окись бора B_2O_3 имеет низкую температуру плавления ($450^\circ C$). Окись кремния имеет очень высокую температуру плавления ($1713^\circ C$).

Выбор оптимального содержания в сплаве кремния и бора осложнен тем, что в расплаве, кроме этих окислов, имеются окислы основного и наплавляемого металла. Сложный состав получаемой шлаковой системы потребовал выбора оптимального содержания кремния и бора экспериментально. В результате исследований созданы порошковые самофлюсующие сплавы для наплавки чугуна (табл. 20). Сплавы НПЧ-1 и НПЧ-3 предназначены для исправления дефектов на поверхностях, не подвергающихся поверхностной закалке; НПЧ-2 — для закаленных поверхностей.

Т а б л и ц а 20. Состав самофлюсующих порошковых сплавов, %

Марка сплава	Si	B	Fe	Cu	C	Ni
НПЧ-1	1,3—1,5	1,2—1,5	0,1—0,7	4—5	0,1—0,3	Остальное
НПЧ-2	2,4—2,7	2,2—2,7	0,1—1,0	4—5	0,1—0,3	»
НПЧ-3 *	0,2— 0,95	0,7—1,1	0,1—0,7	Остальное	0,2	41—60

* 0,1—0,7% редкоземельных металлов

В сплаве НПЧ-3 значительно уменьшено содержание кремния и бора за счет введения редкоземельных металлов и увеличено содержание меди. Увеличение содержания меди позволило понизить температуру плавления сплава до 960° С (вместо 1200° С для сплавов НПЧ-1 и НПЧ-2) и улучшить его пластические свойства. Сочетание меди и никеля в сплаве обеспечивает цвет наплавки, идентичный цвету основного металла (чугуна).

Введение редкоземельных металлов целесообразно ввиду того, что они наиболее активны в сравнении с бором и кремнием, имеют большое сродство к кислороду и способствуют понижению поверхностного натяжения, повышают смачиваемость и растекаемость сплава по чугуну. Обладая достаточно сильной графитизирующей способностью, снижают вероятность возникновения структур закалки в зоне температурного влияния и позволяют стабильно получать необходимую твердость (*НВ* 180—200).

При наплавке образцов установлено, что сплав достаточно легкоплавкий, обладает хорошей смачиваемостью и растекаемостью по поверхности. Шлаки подвижны, жидкотекучи и не мешают ведению процесса. Этот сплав пригоден не только для работы на осушенном (баллонном) ацетилене, но и для работы от газогенераторов среднего давления (т. е. на увлажненном ацетилене). Надежность защиты наплавленного металла от воздействия окружающей среды обеспечивается полностью, что подтверждается результатами газового анализа наплавленного металла (табл. 21).

Т а б л и ц а 21. Содержание газов в наплавленном металле

Ацетилен	Количество газа на 100 г металла, см ³			Содержание в наплавленном металле, %		
	СО	N ₂	H ₂	O ₂	N ₂	H ₂
Осушенный (НПЧ-1)	207,46	32,54	14,2	0,148	0,041	0,0013
	187,64	25,73	8,4	0,134	0,032	0,0008
Увлажненный (НПЧ-3)	182,88	8,71	6,3	0,131	0,011	0,0006
	209,76	7,23	9,0	0,150	0,009	0,0008

Наплавленный металл в процессе механической обработки обрабатывается легко, сколов не обнаружено. Металл наплавки плотный. Твердость во всех случаях *НВ* 180—207. Предел прочности сварных соединений при растяжении ~ 24,3 кгс/мм². Металл, наплавленный с использованием ранее разработанных и экспериментальных порошковых сплавов подвергали испытанию на износостойкость на специальном станке путем трения образца, совершающего возвратно-поступательные движения

в смазке, содержащей твердые, загрязняющие ее частицы. Износ наплавленных образцов соответствовал износостойкости чугуна СЧ 21-40.

Порошковые самофлюсующие сплавы выпускаются централизованно.

Основные трудности, возникающие при пайко-сварке чугуна, связаны с плохой его смачиваемостью припоями из-за наличия большого количества графитных включений. Для удаления графита с поверхности металлической основы, растворения окислов, защиты от окисления, уменьшения поверхностного натяжения, улучшения смачиваемости и растекания припоя служат флюсы.

Применительно к чугунам лучшими показателями технологичности, безусловно, обладали бы технологические материалы (припой и флюсы), позволяющие вести процесс пайки при пониженных температурах, т. е. ниже точки A_{c1} на 100—150° С. Припои должны хорошо растворять основной металл, смачивать его, растекаясь по поверхности, быть дешевыми и недефицитными. Однако в настоящее время при исправлении дефектов чугунных деталей применяют присадочные материалы, представляющие собой сплавы различных цветных металлов сложного состава с использованием газового, индукционного, печного и других способов нагрева; пайку осуществляют при нагреве чугуна до температуры, близкой к температуре ликвидуса припоев. Приведем наиболее применяемые припои.

Сплав ЛОМНА 49-05-10-4-04 состава: 48—50% Cu, 0,9—1% Sn; 9,5—10,5% Mn; 3,5—4,5% Ni; 0,15—0,6% Al. Температура плавления 835° С, твердость наплавленного металла *HV* 170—200, цвет — белый. В припое ЛОМНА белый цвет достигается совместным действием марганца и никеля. Белый сплав, легированный только марганцем, после механической обработки и окисления на воздухе приобретает красноватый цвет окислов марганца. Для устранения этого недостатка сплав легирован алюминием, имеющим большее сродство к кислороду, чем марганец. При пайко-сварке сплавом ЛОМНА с содержанием алюминия на верхнем пределе (0,6%) в расплавленном металле образуются трудноустраняемые тугоплавкие шлаки, содержащие Al_2O_3 . Для отшлакования этих окислов необходимо использовать флюсы ФПСН-2 или МАФ-1, выпускаемые промышленностью.

Сплав ЛОК 59-1-03 состава: 58—60% Cu; 0,2—0,4% Si; 0,7—1,1% Sn; Zn — остальное. Температура плавления 905° С, твердость *HV* 80—100; цвет — желтый. Основное его назначение для пайки меди, стали и др.

Наличие в этом припое в среднем 0,3% Si обуславливает «бездымный» процесс его плавления, т. е. в результате защитного действия кремния процесс пайко-сварки не сопровождается заметным испарением цинка. Угар цинка в этом случае составляет менее 1% против 5% у медно-цинковых сплавов, не содержащих кремний. Однако наряду с положительными свойствами крем-

ний способствует образованию хрупкой диффузионной прослойки на границе сплавления. Прослойка представляет собой упорядоченный α -раствор на основе соединения толщиной до 40 мкм, имеющая высокую твердость. Учитывая также различие в цвете наплавленного и основного металлов и малую твердость ЛОК 59-1-03 рекомендуется для исправления дефектов изделий, к которым не предъявляются особые требования по товарному виду и допускается низкая твердость. В качестве флюсов рекомендуются АН-ШТ2 и МАФ-1.

Латунные сплавы Л62, ЛК62, Л63 также могут быть использованы в качестве припоев для чугуна. В практической работе для устранения диффузионной прослойки первый, облуживающий, слой выполняют простой латунью.

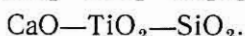
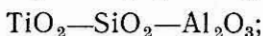
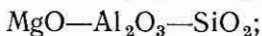
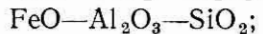
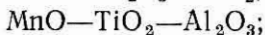
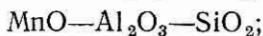
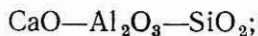
В условиях газопламенных процессов, когда ванна окружена хорошо растворимыми газами, испарение цинка не только ухудшает санитарно-гигиенические условия работы, но и способствует образованию газовой пористости. Для получения последующих плотных слоев применяют кремнистую латунь типа ЛК 62-05. У бескремнистой латуни скорость образования диффузионной прослойки есть функция температуры и времени контакта жидкой латуни с твердой фазой. В интервале температур 650—750° С, характерных для низкотемпературной пайко-сварки, прослойка обычно не превышает 3 мкм и слабо влияет на прочность соединения. Предел прочности паяно-сварных соединений при растяжении в среднем составляет 24 кгс/мм². Твердость наплавленного металла не превышает *НВ* 100, т. е. значительно ниже твердости чугуна. В отдельных случаях при ремонтных работах находят применение припой ПОС-30, ПОС-40 и припой Ц.

Припой Ц представляет собой сплав состава: 92—94% Zn, 5,5—7,5% Sn и до 0,5 Pb. Выплавляется в тиглях при температуре 530—540° С. Поверхность расплава для защиты от угара покрывают слоем угля или графита. Прутки диаметром 8—12 мм, длиной 300—400 мм отливают в корковые формы или кокили.

Сварочные материалы группы III. Для полуавтоматической сварки чугуна проволокой Св-08 с использованием керамических стержней в первом исполнении были разработаны керамические стержни марки ЦСКЧ-2 состава: 14% мрамора; 33% плавикового шпата; 10% графита серебристого (кристаллического); 22% карборунда зеленого; 6% порошка алюминиевого; 12% порошка чугунного; 3% целлюлозы электродной; 30% стекла жидкого натрового к массе сухой шихты.

Исследование электрических и технологических параметров полуавтоматической сварки чугуна с использованием керамических стержней выявило некоторые их недостатки, связанные главным образом с образованием тугоплавких шлаков на поверхности сварочной ванны. Это потребовало некоторого изменения шлаковой системы стержней и соответствующей корректировки их состава.

Предварительно были рассмотрены некоторые тройные диаграммы плавкости окислов, которые могут быть введены в состав шлака. Это системы:



Наибольший интерес для дальнейшего рассмотрения представляли первая и предпоследняя системы, поскольку они ближе других соответствуют составу шлаков, образующихся при расплавлении фтористо-кальциевых стержней с высоким содержанием кремния. Действительно, CaO и SiO₂ постоянно присутствуют в шлаке (разложение CaCO₃ и окисление Si), а TiO₂ и Al₂O₃ легко могут быть получены в его составе за счет введения в керамическую массу ферротитана и алюминия, которые служат полезными добавками с точки зрения повышения стабильности легирования наплавленного металла углеродом и кремнием.

Особого внимания на этих диаграммах заслуживали тройные смеси: CaO·2SiO₂·TiO₂ и CaO·Al₂O₃·2SiO₂, поскольку они имели минимальную для обеих систем температуру плавления (соответственно 1200 и 1270° С). Состав опытных керамических стержней подбирали, учитывая что в реальных условиях образуемые при плавлении этих стержней шлаки будут иметь более сложный состав окислов, в связи с чем их свойства (температура плавления, вязкость и др.) будут лишь приблизительно соответствовать свойствам рассматриваемых тройных систем.

Варианты нескольких составов опытных керамических стержней приведены в табл. 22 (стержни армированы проволокой Св-08 диаметром 3 мм).

Опробование этих стержней при сварке показало, что титано-содержащие стержни отличаются меньшей технологичностью, снижающейся по мере повышения содержания ферротитана в керамической массе. Это следует объяснить высокой электропроводимостью титаносодержащих шлаков, которая приводит к нестабильному горению дуги из-за периодического возбуждения электрошлакового процесса. В случае наплавки чугуна с использованием алюминийсодержащих стержней процесс протекал достаточно стабильно, однако по мере накопления шлака, несмотря на его легкоплавкость и хорошую жидкотекучесть, также происходили нарушения горения дуги.

В дальнейшем делали попытку уменьшить количество шлака при плавлении стержней за счет снижения содержания в них

шлакообразующих компонентов и главным образом плавикового шпата. Стержни опробовали путем полуавтоматической наплавки по режиму: $I = 320 \div 350$ А, $U_d = 38 \div 40$ В; $v_{пр} = 3$ м/мин.

Т а б л и ц а 22. Составы опытных керамических стержней

Компоненты стержней	Содержание, %	
	Ч-1	Ч-2
Мрамор	15	15
Плавиковый шпат	41	41
Графит кристаллический	12	12
Порошок алюминиевый	0	5
Ферротитан	5	0
Карборунд зеленый	24	24
Целлюлоза электродная	3	3
Сода	2	2
Раствор КМЦ в воде (КМЦ — карбоксилметилцеллюлоза)	0,5% к массе сухой смеси компонентов	
Стекло жидкое натровое (плотность 1,49—1,5)	25—30% к массе сухой смеси компонентов	

Наблюдение за процессом позволило сделать вывод, что уменьшение количества шлакообразующих и введение в состав керамической массы алюминиевого порошка заметно уменьшает количество шлака на поверхности ванны. При этом шлаки с более высоким содержанием окислов алюминия имеют большую жидкотекучесть. Однако на основе металлографического и химического анализов наплавленного металла сделано заключение об ограничении введения алюминия в состав стержней до 10%. При большем содержании алюминия в стержне заметно повышается твердость металла шва ($HВ$ 360). Последнее объясняется высоким содержанием алюминия в наплавленном металле, о чем свидетельствуют результаты химического анализа, приведенные в табл. 23.

Т а б л и ц а 23. Состав опытных вариантов керамических стержней, %

Стержни	С	Si	Mn	Al	S	P	Твердость наплавленного металла, $HВ$
Ч-56	2,59	5,14	0,61	0,25	0,004	0,017	198—210
ЧОП	2,69	5,92	0,78	0,90	0,005	0,022	210—219
ЗОП	2,61	6,61	0,91	1,25	0,005	0,035	341—369

В результате корректировки был принят окончательный вариант состава стержней, которым присвоено обозначение СКЧ-3: 15% мрамора; 27% плавикового шпата; 12% чугунного порошка;

7% алюминиевого порошка; 24% карборунда зеленого; 1% соды; 11% кристаллического графита; 3% целлюлозы электродной; 0,5% водного раствора КМЦ к массе сухой смеси компонентов; 25—30% стекла жидкого натриевого плотностью 1,49—1,50 к массе сухой смеси компонентов.

Введение в состав керамических стержней редкоземельных металлов в виде специальной комплексной лигатуры типа МР-1, МР-2 и других значительно улучшает технологические свойства стержней, положительно сказывается на структуре наплавленного металла. В результате были созданы керамические стержни, обеспечивающие перлитную структуру наплавленного металла, а также стержни для сварки высокопрочного чугуна.

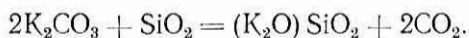
Процессы газовой сварки и пайко-сварки чугуна осуществляют с применением флюсов, отдельно для сварки и пайко-сварки чугуном и латунными сплавами. Флюсы, попадая в реакционное пространство, предотвращают окисление кромок твердого металла, удаляют из жидкого металла окислы и неметаллические включения и образуют покров, предохраняющий расплавленный металл от воздействия газов, поступающих из пламени горелки и воздуха. Флюсы улучшают процесс смачивания поверхности твердого металла жидким присадочным металлом. При нагреве на кромках свариваемых деталей, а также в самой сварочной ванне образуются окислы различного характера: FeO , Fe_2O_3 , MnO_2 , SiO_2 , P_2O_5 и др.

Флюсы взаимодействуют с окислами путем растворения или связывания их в легкоплавкие соединения с малой плотностью. Они участвуют также наряду с пламенем горелки в удалении с поверхности разделки плохо смачиваемых металлом включений графита, без чего невозможно осуществление связей основного и присадочного металлов при низкотемпературных процессах пайко-сварки, протекающих без расплавления основного металла.

С этой целью во флюсы вводят вещества, выделяющие в результате диссоциации свободный кислород, например азотнокислый натрий NaNO_3 . Эта соль при нагреве диссоциирует с выделением свободного кислорода, окисляющего графит. Освободившиеся окислы натрия, соединяясь с SiO_2 , образуют легкоплавкое соединение. Атомарный кислород обладает высокой активностью и, находясь на границе раздела металл—флюс, энергично окисляет микровыступы графитовых включений и тем самым улучшает процесс смачивания поверхности чугуна жидким металлом. Образующиеся при этом газообразные соединения CO и CO_2 легко удаляются из расплавленной ванны. Легирование металла путем введения в состав флюса соответствующих лигатур не практикуется, так как объем вводимого флюса и температура сварочной ванны сравнительно невелики.

При сварке чугуна применяют преимущественно кислые флюсы, состоящие главным образом из борсодержащих веществ. Вводить в состав флюса кремниевые соединения, в том числе

и SiO_2 , нецелесообразно, так как это соединение образуется за счет окисления кремния чугуна; одна из основных задач флюса — перевод этого соединения в более легкоплавкое, например $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$. Именно в связи с этим при выборе состава флюса из бористых соединений предпочтение отдают буре $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, которая диссоциирует с выделением Na_2O и B_2O_3 . Отшлакование SiO_2 возможно также и в помощью углекислых солей натрия или калия. Реакция взаимодействия при этом описывается следующим уравнением:



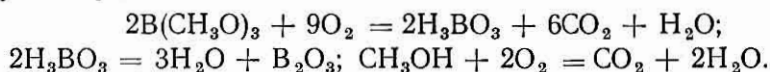
Выделяющийся по указанной реакции углекислый газ, особенно при больших объемах сварочной ванны, может вызвать пористость в наплавленном металле. Это явление менее заметно при малых объемах сварочной ванны. Условиям газовой сварки соответствуют флюсы марки ФСЧ-1.

Все порошковые флюсы, применяемые для газовой сварки, обладают некоторыми технологическими недостатками. Под действием струи газов, выходящих из горелки под давлением, флюс раздувается и частично безвозвратно удаляется из зоны сварки. Подача флюса в ванну в большинстве случаев неравномерная. Обычно флюс подается путем окунания нагретого конца присадочного прутка в порошкообразный флюс или вносится вручную в расплавленную ванну. Эти способы не могут обеспечить равномерность подачи флюса и уменьшают производительность процесса сварки, так как в момент введения флюса сварщик вынужден на какое-то время прекратить нормальный процесс нагрева ванны и плавления присадочного прутка, что может способствовать образованию пористости.

На заводе Станколит нашел применение способ нанесения флюса в виде электродного покрытия на чугунные прутки, предназначенные для заварки чугунных отливок из модифицированных чугунов, а также дефектов на механически обработанных поверхностях. К сухой смеси флюса добавляют в частях: глицерина 5; воды 15—20. Доводят до кипения, затем наносят на пруток методом окунания или окраски. Слой флюсового покрытия составляет 0,5—1 мм на сторону. Обмазанные прутки сушатся на воздухе и в сушильном шкафу 10—12 ч. Лучшие результаты получены при использовании флюса марки МАФ-1 с добавлением по 5 частей закиси кобальта и окиси меди. Сварку ведут обычными приемами. Флюс-покрытие обеспечивает полное удаление всех неметаллических включений и образует равномерный и плотный шлаковый покров на поверхности сварочной ванны. Особенность нового флюса — повышение смачивающих свойств прутков.

В целях повышения эффекта обработки расплава флюсом Г. А. Асиновская провела работу по использованию газообразного флюса, который в виде легкоиспаряющейся жидкости БМ-1 (ТУ 6-02-707-72) состава: 70—75% метилбората В $(\text{CH}_3\text{O})_3$ и

матанола (CH_3OH) остальное вводят непосредственно в газовую смесь горелки. Эта жидкость кипит при температуре $+54^\circ \text{C}$. Пары флюса вместе с горючим газом ацетиленом или пропан-бутаном посредством установки КГФ-3-71 подают в пламя горелки. Флюс, сгорая в пламени, образует борный ангидрид — B_2O_3 в активной газообразной форме. Наиболее вероятная реакция сгорания флюса:

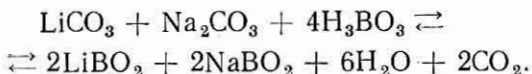


С этим флюсом при газофлюсовой сварке чугуна создается эффективная защита ванны от попадания в нее газов. Однако при использовании газообразного флюса встречается ряд неудобств, существенно ограничивающих область его применения, а именно: необходимость в специализированном оборудовании; токсичность жидкого флюса, требующая организации специализированного склада с вентиляцией и строгого соблюдения специальных правил техники безопасности при разливе флюса; возможность применения флюса только с сухим ацетиленом, т. е. от баллона с осушителем, или при использовании сжиженной пропан-бутановой смеси; отсутствие окислов основного характера в шлаковом покрове, требующее повышенной внимательности сварщика при очистке поверхности расплавляемого металла от неметаллических включений, так как образование комплексных легкоплавких соединений затруднено.

При низкотемпературной пайко-сварке присадочный металл, расплавляясь, не образует ванны жидкого металла большого объема и существование расплава ограничено во времени. Увеличение температуры пайко-сварки приводит к интенсификации диффузионных процессов и к увеличению микротвердости зон паяного соединения. В связи с этим приемлемым могут быть те композиции составов флюсов, которые наряду с раскисляющим и защитным действием устраняют свободный графит, имеющийся на поверхности чугуна, обеспечивают смачивание и образование металлических связей на границе чугун—припой в интервале рабочей температуры для присадочных материалов: чугунных $850\text{—}950^\circ \text{C}$; латунных $650\text{—}750^\circ \text{C}$. Флюс служит также индикатором температуры начала процесса, для чего температура плавления флюса должна быть $600\text{—}650^\circ \text{C}$, т. е. близкой к рабочей температуре пайко-сварки.

Этим требованиям отвечает при пайко-сварке чугунными присадочными материалами флюс марки ФСЧ-2. Под действием газопламенной обработки и окислов азота, выделяющихся при разложении флюсов, графит, имеющийся на поверхности чугуна, частично окисляется, образуя капилляры, в которые затекает расплавленный присадочный металл. Раскисленные капли расплавленного присадочного чугуна равномерным слоем заполняют разделку дефекта, образуя прочное соединение с основным металлом.

По своим технологическим приемам пайко-сварка латунными припоями близка к процессу пайко-сварки чугунами прутками. Требованиям, отвечающим пайко-сварке латунными припоями, соответствуют флюсы ФПСН-1 (для бескремнистых) и ФПСН-2 (для кремнистых), в основу которых заложена тройная смесь $\text{Li}_2\text{CO}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_3\text{BO}_3$, взятые в соотношении 1:1:2. Конечные продукты при взаимодействии указанных компонентов



При взаимодействии указанных выше компонентов образуется смесь, близкая к эвтектической, отвечающая содержанию $\text{LiBO}_2 - 50\% + \text{NaBO}_2 - 50\%$ с температурой плавления 630—650° С. В отличие от флюса ФПСН-1 флюс ФПСН-2 содержит 10% галлоидосодержащей добавки, представляющей собой сплав состава 72,5% NaCl и 27,5% NaF.

Флюс марки МАФ-1 (межфазно-активный) разработан применительно к пайко-сварки чугунной присадкой и оказался пригодным также для пайко-сварки припоями на медной основе (табл. 24).

Т а б л и ц а 24. Флюсы для сварки и пайко-сварки чугуна

Составляющие компоненты, %	ФСЧ-1	ФСЧ-2	ФПСН-1	ФПСН-2	МАФ-1
Литий углекислый	—	0,5	25,0	22,5	—
Кальций углекислый	30,0	26,5	25,0	22,5	12,0
Кислота борная	—	—	50,0	45,0	—
Бура обезвоженная	50,0	23,0	—	—	33,0
Натрий азотнокислый	20,0	50,0	—	—	27,0
Окись кобальта	—	—	—	—	7,0
Натрий фтористый	—	—	—	—	12,5
Фторцирконат калия	—	—	—	—	8,5
Лигатура солевая	—	—	—	10,0	—

Приведенные в табл. 24 флюсы выпускаются промышленностью. Имеются рекомендации по применению флюсов марки АН-ШТ2; № 209, которые обладают высокой активностью при пайко-сварке чугуна припоями на медной основе.

Для пайки сплавом Ц применяют флюс следующего состава: 39—42% цинка хлористого; 30—43% алюминия хлористого; 8—10% олова двуххлористого; 4—6% бария хлористого; 9—11% хлорной меди. После приготовления флюс помещают в герметически закрывающуюся тару, где его содержат до приобретения им зеленоватого цвета, после чего он готов к употреблению. Перед употреблением его измельчают. Присутствие во флюсе значительного количества хлористых соединений требует хорошей вентиляции на сварочных участках.

Технологические процессы получения наплавленного металла в виде серого чугуна горячими способами сварки

При сварке с предварительным подогревом отливок создается возможность в широких пределах регулировать скорость охлаждения наплавленного металла, что способствует получению сварного соединения, полностью соответствующего основному металлу, и избавляет металл от образования трещин. Кроме того, сварка с общим и местным подогревом обеспечивает высокую производительность процесса и при исправлении дефектов крупных размеров в большинстве случаев незаменима.

Наиболее эффективны, распространены и общедоступны способы сварки для получения наплавленного металла в виде серого чугуна следующие: ручная дуговая чугунными электродами, механизированная дуговая порошковыми проволоками, полуавтоматическая порошковой проволокой с использованием керамических стержней, газовая с чугунной присадкой.

Необходимость существования нескольких способов горячей сварки чугуна определяется разнохарактерностью дефектов на обрабатываемых поверхностях чугунных изделий, а также возможностью получения однородного сварного соединения, соответствующего основному металлу. Это имеет особенно важное значение при заварке дефектов на обрабатываемых рабочих поверхностях — скольжения, перемещения и других, работающих на износ, требованиям эксплуатации которых не удовлетворяет ни один из способов холодной сварки чугуна. Так, например, сварное соединение, выполненное электродами из медно-никелевых сплавов, обладает удовлетворительной обрабатываемостью, но различная с чугуном вязкость наплавленного металла и наличие незначительной подкладки в зоне сплавления недопустимы на поверхностях трения.

При исправлении дефектов на обрабатываемых нерабочих поверхностях только в некоторых их частях целесообразно и допускается применение холодной сварки медно-никелевыми сплавами, основная же масса дефектов подлежит заварке горячими способами. Сквозные дефекты на обрабатываемых и необрабатываемых поверхностях, работающих в условиях динамических нагрузок или в агрессивной среде, также подлежат заварке чугунными сварочными металлами с подогревом отливок.

Таким образом, несмотря на многочисленность способов холодной сварки чугуна, горячие способы сварки не только не теряют своего значения, наоборот, для определенного круга дефектов, когда требуется наплавка с заданной структурой и

твердостью, единственно приемлемы. При правильной организации исправления дефектов горячей сваркой восстанавливается свыше 50% общего количества исправляемых отливок и деталей.

При горячей сварке чугуна качество наплавленного металла достигается одновременным действием нескольких факторов, оказывающих влияние на конечные результаты сварки. Важнейшие из них: термический режим (температура нагрева, поддержание отливки в нагретом состоянии в процессе заварки, охлаждение после заварки); качество электродного и присадочного материала; технология ведения сварки, требующая от сварщика соответствующих практических навыков.

Процесс нагрева отливки, охлаждения и полного затвердевания сварочной ванны связан на первом этапе с расширением нагреваемых частей, на втором — с усадкой; на обоих этапах возникает опасность образования трещин.

Чугуны всех марок обладают большой чувствительностью к резким температурным изменениям. В практической работе по исправлению чугунных изделий встречаются отливки и детали несложной конфигурации (и их оказывается большинство), подогрев которых не представляет больших трудностей. Другая их часть — отливки и детали сложной конструкции, представляют определенные трудности для нагрева. При их нагреве следует учитывать, что конструктивные формы, особенно в местах сочленения стенок больших и малых толщин, резких переходов, наличия ребер и стенок различной протяженности, становятся источниками внутренних напряжений, которые могут вызвать появление трещин в различных частях изделий. Трещины в результате неравномерного нагрева и охлаждения возникают в температурном интервале 300—400° С, поэтому сложные по конструкции отливки и детали должны нагреваться и охлаждаться медленно.

Величина линейной усадки чугуна колеблется от —0,5 до +1,2%. Усадка при охлаждении в температурном интервале охлаждения между 1200 и 700° С (доперлитная) составляет в серых чугунах около 25% общей усадки и практически в расчет не принимается. Усадка (послеперлитная), происходящая при температуре ниже 700° С, составляет около 75% общей усадки и имеет решающее значение в практической работе как фактор возникновения остаточных напряжений. Следовательно, при горячей сварке с предварительным подогревом до температуры 650—700° С внутренние напряжения в отливке уменьшаются и деталь может подвергаться сварке без опасения появления трещин. Температура наплавленного металла выравнивается с температурой отливки и при дальнейшем медленном охлаждении претерпевает совместную с отливкой послеперлитную усадку.

Предварительный нагрев отливок также имеет большое значение для формирования структуры сварного соединения. По мере возрастания температуры нагрева чугуна теплопроводность

его снижается. Это свойство чугуна в условиях горячей сварки обеспечивает медленную теплоотдачу сварочной ванной тепла в массу изделия, создавая тем самым благоприятные условия для образования мягкого чугуна, обладающего хорошей обрабатываемостью.

↓ Структура чугуна при одном и том же его химическом составе в сильной степени зависит от скорости охлаждения. При быстром прохождении эвтектических и эвтектоидных температур процесс графитизации не успевает полностью закончиться, что может привести к выпадению свободного цементита и сохранению переходных структур (продуктов распада аустенита): мартенсита, троостита, сорбита, наличие любой из которых затрудняет механическую обработку наплавленного слоя.

Получение в наплавленном металле перлитно-цементитных структур с участками свободного цементита вызвано не только распадом аустенита в области эвтектоидного превращения. Чаше наличие цементита обусловлено быстрым охлаждением чугуна при затвердевании и эвтектическим образованием. Количество цементита тем больше, чем больше скорость охлаждения чугуна при затвердевании эвтектики.

При замедленном охлаждении в сварочной ванне образуется перлитная структура. Эта структура чугуна, состоящая из перлита, феррита и включений свободного графита, обеспечивает хорошую обрабатываемость поверхности. Нагрев выше температуры $650\text{--}700^\circ\text{C}$ и длительное выдерживание отливок при этих температурах нежелательны, так как это может снизить твердость нагреваемых частей. При высокой температуре ($800\text{--}840^\circ\text{C}$) уже через 20—30 мин нагрева происходит заметная ферритизация структуры, прогрессирующая при увеличении длительности выдержки при этой температуре. В отливках с перлитной или сорбитной основой температура нагрева и длительность выдержки должны соблюдаться особенно тщательно.

Механические свойства чугуна (прочность и твердость) в основном зависят от характера металлической массы (соотношения феррита и перлита) и от количества и характера расположения графита.

Одной из самых существенных, постоянно присутствующих в чугуне примесей, определяющих характер чугуна, является кремний. В зависимости от его количества в сплаве возможно образование либо твердых растворов кремния в железе, либо силикокарбидов малой устойчивости, либо химических соединений кремния с железом. При содержании кремния менее 1% он целиком растворяется в железе и оказывает очень незначительное влияние на графитообразование. При средних количествах кремния (3,0—3,5%) достигается максимальное образование графита. При высоких содержаниях кремния графитообразующая способность его снова ослабевает и образуются силикокарбиды.

В условиях повышенных скоростей охлаждения сварочной ванны при сварке происходит измельчение графита и получение более дисперсных форм металлической основы в виде сорбитообразного перлита. Твердость наплавленного металла в этом случае повышается до *HВ* 250, однако чугун сохраняет хорошую обрабатываемость и серый цвет.

Технологический процесс горячей сварки состоит из следующих операций: разделки дефекта; приготовления формы по контуру дефектной части отливки; предварительного нагрева отливки; заварки; отжига и охлаждения.

Сварочные способы, предназначенные для исправления дефектов чугунных отливок с общим или местным предварительным подогревом, имеют свою специфику, определяемую применяемым оборудованием и сварочными материалами. Вопросы подогрева, подготовки дефектов, охлаждения после сварки, термообработки — общие для всех способов горячей сварки чугуна. Они определяются массой и конфигурацией отливки, характером и размерами дефекта, его расположением на отливке и т. п.

Разделка дефекта. Земляные и шлаковые раковины очищают от земли и шлака путем вырубки до чистого основного металла. Раковины, имеющие отлогие края, а также раковины, расположенные на углах отливки и выходящие на поверхность в виде отлогого скоса, следует искусственно углублять.

При горячей сварке трещины и другие сквозные дефекты, наряду с механическими способами, можно разделять воздушно-дуговой резкой или выплавлять дугой. Ширина прорези должна быть достаточной для удобства сварки. Трещины, образовавшиеся в результате усадочных напряжений, засверливают по концам и после засверливания прорезают. Трещины, образовавшиеся в результате разрушения отливки от удара, прорезают без предварительного засверливания.

При разделе сквозных отверстий следует обращать внимание на то, чтобы края их были освобождены от земляных включений. Если от сквозного отверстия отходят спаи, то путем вырубки или вырезания им придают наиболее выгодную для заварки форму.

Отбитую часть, предназначенную для горячей заварки, представляют к старому месту и укрепляют в нем путем приварки скоб (рис. 10, *а, б*). По месту стыка проделывают прорезь воздушно-дуговой резкой; ширина прорези должна быть достаточной для удобства формовки и заварки. Если отбитая часть утеряна, то следует отрезать соответствующую часть от забракованной отливки или отлить ее по модели; отлитую часть готовят для заварки так же, как и отбитую.

При горячей дуговой сварке одновременно в расплавленном состоянии может находиться несколько килограммов металла. При этом скорость застывания металла искусственно замедляется. Для удержания и формирования металла форму изготавливают из

огнеупорной глины, которая и придает наплавленному металлу определенную форму.

Горячую сварку можно выполнять только в нижнем положении; поэтому устанавливать отливку и изготовлять форму необходимо с учетом того, что поверхность наплавленного металла будет горизонтальной.

Формы для заварки дефектной части отливки изготовляют из специальной жаростойкой формовочной смеси следующего состава: 40% песка кварцевого; 40% глины белой огнеупорной; 20% графита. Смесь замешивают на воде до состояния крутого теста. Форму изготовляют путем окантовки контура дефекта

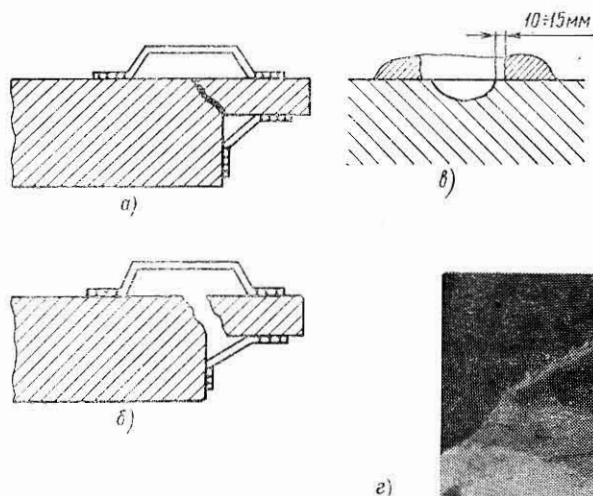


Рис. 10. Подготовка деталей к сварке:

а — отбитая часть, скрепленная скобками; *б* — отбитая часть с прорезью, подготовленная к подформовыванию; *в* — схема подформовки дефекта; *г* — подформованный дефект детали

формовочной смесью, для чего последнюю раскатывают на пласти и укладывают на увлажненную поверхность отливки. Внутреннюю часть формы тщательно отделяют гладилкой и формовочным крючком. Расположение стенок формы должно обеспечивать свободу манипулирования дугой и доступность визуального контроля ванны. Форма должна отстоять от краев разделки на 10—15 мм (рис. 10, *в*, *г*) и служить контрольной мерой высоты наплавленного металла (примерно 8—10 мм над поверхностью отливки).

Размер сварочной ванны не должен превышать величину, при которой возможно расплавить всю поверхность участка и поддерживать ванну в жидком состоянии. Для этого при ручной дуговой сварке чугуном электродом диаметром 14 мм и силе тока 1200 А площадь участка должна быть не более 80—100 см², при диаметре электрода 16 мм и силе тока 1300—1400 А — не более 100—120 см²; при механизированной сварке одной порошковой проволокой диаметром 3—3,2 мм и силе тока 700—900 А — до 50 см², тремя

порошковыми проволоками при силе тока 1300—1500 А — до 150 см². Дефекты размерами, превышающими указанные, разбивают на участки в соответствии с возможностями способа сварки и применяемых режимов. Перегородки должны быть легко выбиваемыми и изготовляемыми из графитовых пластинок.

Отливки сложной конфигурации с дефектами крупных и очень крупных размеров в жестком контуре подвергают общему нагреву в камерных или ямных печах до температуры 650° С. При заварке дефектов в отливках несложной конфигурации при расположении дефекта вне жесткого контура, на краю детали, применяют местный нагрев до температуры 600° С в горнах или переносными горелками.

При заварке особо сложных и ответственных отливок, имеющих резкие изменения толщины стенок, а также в тех случаях, когда непосредственно процесс заварки занимает длительное время, необходимо применять сопутствующий подогрев, чтобы температура отливки выдерживалась в процессе сварки постоянной.

Термообработку заваренных отливок проводят немедленно после сварки с использованием тех же средств, что и при нагреве. Режимы термообработки следующие: в печах — нагрев до температуры 700° С (быстрый), выдержка 1—1,5 ч, охлаждение с печью до температуры 200—250° С; на горнах — нагрев до температуры 650—700° С, выдержка 1—1,5 ч при включенных горелках, выдержка 1 ч при выключенных горелках; переносными горелками — нагрев до температуры 650—700° С, выдержка 1—1,5 ч.

Горячая дуговая заварка чугунами электродами и механизированная порошковой проволокой. Эти процессы предназначены для исправления различных дефектов крупных размеров на обрабатываемых и обработанных поверхностях отливок, не подвергающихся и подвергающихся поверхностной закалке.

Мощной электрической дугой, возникающей между электродом и отливкой, основной металл расплавляется, образуя жидкую ванну большого объема, которая сосуществует с основным металлом, предварительно нагретым до температуры 600—650° С, в процессе всей наплавки. При правильно организованном нагреве и охлаждении внутренние напряжения в отливке оказываются минимальными, что уменьшает возможность образования трещин.

При ручной дуговой заварке расплавление основного металла и образование жидкой ванны осуществляются чугунами электродами по режиму, приведенному в табл. 25.

Т а б л и ц а 25. Режимы ручной сварки

Диаметр электрода, мм	Сила тока, А	Размеры площади наплавленного металла, см ²
14	1200—1300	80—100
16	1300—1400	100—120

При механизированной заварке в зону расплавления (рис. 11) со скоростью, указанной в табл. 26, непрерывно подается одна (рис. 11, а) или несколько (рис. 11, б) порошковых проволок; при этом используются высокие значения плотности тока, необходимые для образования жидкой ванны большого объема. Это создает условия для полноты протекания реакции усвоения компонентов порошковой проволоки, графитизации, дегазации

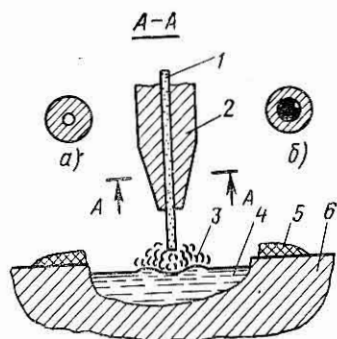


Рис. 11. Схема механизированной сварки чугуна порошковой проволокой:

1 — порошковая проволока; 2 — токосъемник (мундштук); 3 — дуга; 4 — ванна расплавленного металла; 5 — глиняная форма; 6 — основной металл

и выравнивания химического состава в расплаве. Выравниваются также структура и твердость по всему сечению сварного соединения.

Вылет проволоки в процессе сварки при правильно установленном режиме должен составлять 40—50 мм. При сварке тремя проволоками последние в токосъемнике свариваются и подаются

Т а б л и ц а 26. Режимы механизированной сварки

Число проволок	Размеры площади наплавленного металла, см ²	Скорость подачи проволок, м/ч	Сила тока, А
1	До 50	230—300	700—900
3	50—150	180—240	1300—1500

в зону плавления не разделяю, а монолитно. Начинать заварку дефекта следует с расплавления донной части дефекта, сосредотачивая дугу на участках, имеющих неметаллические включения. Расплав следует обязательно удалить и тщательно осмотреть поверхность дна. При необходимости операцию расчистки путем расплавления загрязненных участков и удаления расплава повторить.

Заплавление объема дефекта необходимо начинать с расплавления очищенного участка дефекта с образованием жидкой ванны большого объема. После наведения жидкой ванны требуется приостановить наплавку и удалить шлаки металлическим крючком,

В процессе наплавки необходимо обязательно поддерживать ванну в жидком состоянии, при этом во избежание прожогов стенок дефекта следить, чтобы дуга не концентрировалась на граничной зоне металла с формой, а также на стенках дефекта. Движение дуги следует ограничивать расплавом.

По мере подъема ванны можно делать периодически проходы по граничной зоне основного и расплавленного металлов. Для ускорения процесса наплавки вводить в ванну чугунные добавки. В качестве добавок можно использовать чистые куски чугуна, близкого по составу к основному металлу (скрап галтовочных барабанов, чугунную стружку и др.). Добавлять следует после очистки поверхности ванны от шлаков небольшими порциями в количестве до 35% к наплавленному металлу. Каждую порцию тщательно расплавлять.

По достижении толщины наплавленного слоя уровня поверхности основного металла необходимо сконцентрировать дугу у подножия формы и медленно пройти дугой по контуру формы, перевести дугу в центр расплава. Наплавленный металл должен возвышаться над основным на 5—8 мм. По окончании наплавки ванну накрывают куском асбеста или на затвердевшую раскаленную поверхность расплава насыпают слой угольной мелочи, а при ее отсутствии — слой формовочной отработанной смеси, песка.

В процессе наплавки и по окончании ее сварщик обязан следить за состоянием расплава и формы: появление на поверхности ванны при заварке порошковой проволокой нерастворившейся шихты свидетельствует о недостаточной величине тока или о повышенной скорости подачи проволоки — необходимо отрегулировать режим заварки; выбрасывание отдельных брызг из расплава свидетельствует о наличии в глубине ванны неметаллических включений — необходимо удалить наплавленный металл, расчистить ванну и повторить наплавку; разрушение формовочной смеси под воздействием дуги свидетельствует о несоответствии состава формовочной смеси — следует заменить состав формовочной смеси.

Причины возможных дефектов в наплавленном металле при горячей дуговой сварке чугунами электродами и механизированной сварке порошковой проволокой приведены в табл. 27.

На рис. 12 приведены примеры отливок, восстановленных горячей сваркой чугунами электродами и порошковой проволокой.

Полуавтоматическая дуговая сварка и наплавка с использованием керамических стержней. Способ, разработанный в ЦНИИТ-МАШ, основан на совместной подаче в дуговой промежуток сварочной проволоки и керамических стержней (рис. 14). При этом цилиндрические стержни 1 с продольным пазом, изготовленные по рецептурам, близким к составам электродных покрытий, подаются в зону сварки через направляющую втулку 2 под углом

около 45° к сварочной проволоке 3. Непрерывно подаваемая сварочная проволока, имеющая свою направляющую втулку 4, и торец спирающегося на проволоку стержня (рис. 13) расплавляются от теплоты дуги. После расплавления всего стержня его заменяют новым. Способ удачно сочетает в себе основные преимущества ручной сварки покрытыми электродами (гибкость легирования, возможность визуального наблюдения за сварочной ванной) с высокой производительностью механизированных способов.

Таблица 27. Возможные дефекты и причины их возникновения

Дефекты	Причины возникновения
Неплотности и чернота в наплавленном металле	Недостаточное расплавление основного металла. Недостаточное выдерживание ванны в жидком состоянии. Основной металл содержит гнезда не растворившегося модификатора
Отбел в зоне сплавления в наплавленном металле	Недостаточный прогрев основного металла в зоне наплавки. Быстрое охлаждение ванны, недостаточность цикла термообработки
На поверхности металла большое количество шлаков и кусков проволоки	Повышенный коэффициент заполнения порошковой проволоки или неравномерное заполнение оболочки порошковой проволоки шихтой. Мала сила тока и велика скорость подачи. Мало время существования расплава



а)



б)

Рис. 12. Горячая дуговая заварка:

а — ручная чугуными электродами; б — механизированная порошковой проволокой

Применительно к сварке чугуна способ механизированной сварки с использованием керамических стержней подвергался тщательному изучению. Разработаны составы керамических стержней, изучены технологические параметры сварочного процесса, подобрана рациональная марка проволоки. В начале применяли

сварочную проволоку марки Св-08 и керамические стержни марки ЦСКЧ-2. Эксперименты оценивали с помощью химического, металлографического анализов, замеров твердости и механических испытаний образцов.

Скорость расплавления керамического стержня определяли при силе тока 170—600 А. Для сохранения постоянства других электрических параметров увеличение тока компенсировали повышением скорости подачи присадочной проволоки и изменением напряжения холостого хода источника тока. С повышением силы тока дуги от 170 до 600 А скорость расплавления керамических стержней возрастает, а затем падает; при силе тока 400 А кривая имеет максимум.

Визуальное наблюдение процесса наплавки показало, что с повышением силы тока (при $I_d = \text{const}$) дуга заметно погружается в основной металл, что, по-видимому, уменьшает тепловое воздействие дуги на керамический стержень, замедляя его скорость плавления (диапазон силы тока 450—600 А). Однако в диапазоне 250—500 А изменение скорости расплавления стержней не превышает 9—18% среднего значения. Следовательно, для обеспечения заданного состава наплавленного металла (3% С; 4% Si) необходимо, чтобы изменение доли участия стержня k_c не выходило за пределы 0,51—0,61 ($0,56 \pm 0,05$), т. е. не превышало $\pm 9\%$ среднего значения.

При постоянной скорости подачи электродной проволоки из соотношения $k_c = \sigma_c / \sigma_n$ (σ_c и σ_n массовые доли стержня и проволоки) следует, что скорость плавления стержней пропорциональна доле их участия. Следовательно, заданный химический состав сплава может быть получен при изменении силы тока дуги от 250 до 500 А при условии постоянства остальных электрических и технологических параметров процесса. Отклонения силы тока не превышают $\pm 5\%$ установленного номинала, что не может значительно изменять скорость плавления стержней (примерно $\pm 2\%$), а также состав наплавленного металла.

Таким образом, полученные данные позволяют прийти к выводу в том, что практические колебания величины тока в процессе полуавтоматической заварки чугуна с применением керамических стержней не оказывают существенного влияния на химический состав наплавленного металла.

Зависимость скорости расплавления стержня от изменения напряжения дуги определяли путем изменения значений напряжения холостого хода источника тока. Скорость расплавления

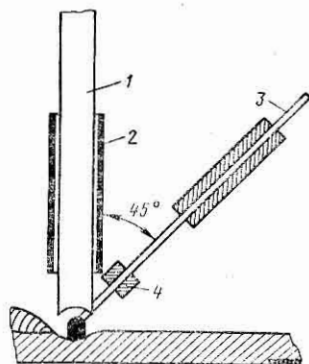


Рис. 13. Принципиальная схема способа сварки с использованием керамических стержней

стержней ЦСКЧ-2 имеет линейную зависимость от напряжений дуги (рис. 14, б):

$$\sigma_c = kU_d + B,$$

где σ_c — скорость расплавления стержня, г/мин; U_d — напряжение дуги; k и B — коэффициенты, характеризующие сварочные свойства стержней.

Анализ полученной зависимости указывает на существенное влияние напряжения дуги на скорость расплавления стержней и, следовательно, на долю их участия ($k_c = \sigma_c/\sigma_n$) в процессе сварки.

При выполнении экспериментов было замечено, что с повышением напряжения дуги существенно увеличивается и ее длина.

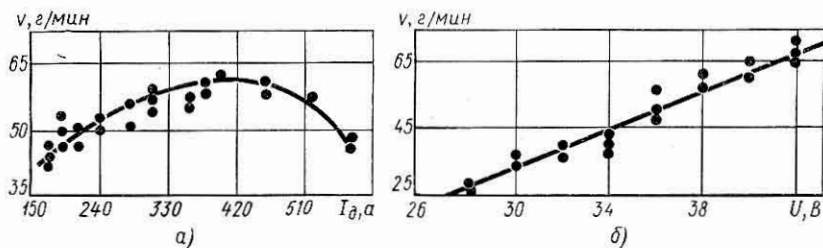


Рис. 14. Зависимость скорости v плавления стержней:

а — от тока дуги I_d ; б — от напряжения U

Последнее, как известно, при электродуговой сварке сильно сказывается на переходе легирующих элементов в наплавленный металл. Для оценки этого фактора проведены дополнительные исследования, позволившие определить коэффициенты перехода углерода, кремния и марганца в наплавленный на чугун металл при различных значениях напряжения дуги. С повышением напряжения дуги коэффициенты перехода легирующих элементов снижаются (рис. 15).

Таким образом, напряжение дуги оказывает двойное влияние на химический состав металла, наплавленного с использованием керамических стержней. С одной стороны, повышение напряжения увеличивает скорость расплавления стержней в линейной зависимости, повышая тем самым содержание легирующих элементов в наплавленном металле, с другой — снижает коэффициенты перехода легирующих элементов из расплавленного стержня в наплавленный металл.

При оптимальном, установленном опытным путем, режиме наплавки для стержней ЦСКЧ-2 (сила тока дуги 380—400 А, скорость подачи проволоки 283 м/ч и напряжения дуги 36—38 В) допустимое изменение напряжения равняется 6В (+3 В) или $\pm 8\%$ номинального значения.

Однако правилами эксплуатации силовых установок на предприятиях допускаются колебания напряжения в сетях до $\pm 10\%$, поэтому для обеспечения стабильного химического состава металла при сварке с использованием керамических стержней в качестве источников питания следует рекомендовать преобразователи с жесткой вольт-амперной характеристикой типа ПСГ-500, АСУ-500, допускающие указанные колебания напряжения в первичной сети без трансформации их во вторичную сварочную цепь.

Для оценки влияния полярности тока на скорость расплавления стержней выполнены эксперименты как на прямой, так и на обратной полярности. Средняя скорость расплавления стержней на прямой полярности имела значение 47,2 г/мин (45,6—49,4), а на обратной — 52,8 (51,2—54,9).

Предположение о различном количестве энергии, выделяемой в анодном и катодном пространствах, не подтвердилось при исследовании скорости наплавки покрытых электродов по методике Ронского. Однако с повышением тока дуги наблюдалось изменение направления [газового потока в дуге: при токе до 240 А газовый поток направлен от анода к катоду, при токах 240—270 А наблюдалось встречное движение потоков, а при дальнейшем повышении тока газовый поток направлен с катода на анод. Наряду с этим замечено, что на электроде, подключенном к катоду, при всех режимах образовались козырьки покрытия, чего не наблюдалось на противоположном электроде. Возможно, что при данной газовой атмосфере в столбе дуги увеличение скорости расплавления керамических стержней на обратной полярности происходит за счет образования потока нагретых газов от катода к аноду. Этот поток газов способствует лучшим условиям передачи теплоты от дуги к керамическому стержню, увеличивая скорость плавления последнего аналогично покрытиям электродов фтористо-кальциевого типа. Обычно полуавтоматическая наплавка осуществляется на скорости 10—20 м/ч. Зависимость скорости расплавления стержней от скорости наплавки исследована для скоростей наплавки 8,6—32 м/ч:

Скорость наплавки, м/ч	8,6	10,3	15,6	21,5	32,0
Скорость плавления стержня, г/мин . . .	53,9	55,7	53,8	54,8	55,5

Результаты экспериментов показывают, что средняя скорость расплавления керамических стержней практически не зависит от изменения скорости наплавки в исследованных пределах. Макси-

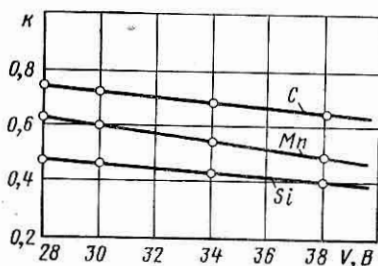


Рис. 15. Влияние напряжения дуги U на коэффициенты k переноса легирующих элементов

мальные отклонения скорости расплавления стержней не выходят за пределы $\pm 1,5\%$ средней, что соответствует обычному разбросу экспериментальных данных.

При полуавтоматической наплавке в результате увеличения канала мундштука в процессе работы или применения загрязненной проволоки зачастую наблюдается непостоянство расположения точки перехода сварочного тока с мундштука на электродную проволоку — блуждание токосъема. Блуждание токосъема сопровождается изменением вылета электрода, что, в свою очередь, отражается на электрических параметрах процесса. Это может привести к изменению скорости расплавления стержней и непостоянству химического состава наплавленного металла.

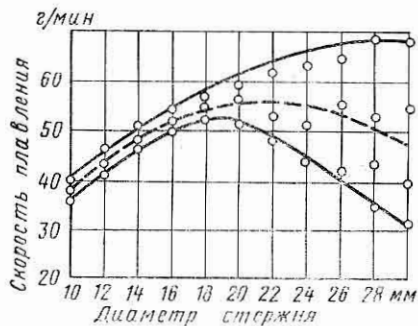


Рис. 16. Зависимость скорости плавления стержня от его диаметра

Во всех экспериментах напряжение дуги оставалось постоянным, а сила тока изменялась от 350 А при вылете 20 мм до 300 А — при 45 мм.

Изменение вылета электродной проволоки от 25 до 45 мм практически не влияет на скорость плавления стержней. Уменьшение вылета от 25 мм снижает скорость плавления стержней из-за недостаточного предварительного подогрева вылета током и углубления дуги в наплавляемое изделие. Практические пределы изменения диаметра керамического стержня при изготовлении его по существующей технологии методом выдавливания на электродообмазочном прессе не превышают ± 2 мм номинального диаметра фильера. В проведенных экспериментах диаметры стержней изменяли в гораздо больших пределах, что было связано с определением оптимального диаметра стержня (рис. 16).

Трехкратное увеличение диаметра керамического стержня примерно в 1,5 раза повышает скорость его расплавления, причем это повышение скорости плавления наблюдается при изменении диаметра стержней от 10 до 20 мм. Дальнейшее увеличение диаметра сверх 20 мм приводит к значительному разбросу экспериментальных данных за счет образования козырьков, препятствующих равномерному плавлению стержней, поэтому с точки зрения производительности процесса наплавки с использованием керамических стержней ЦСКЧ-2 оптимальным диаметром стержня

следует считать $\varnothing 18 \pm 2$ мм. Что касается изменения диаметра стержня в пределах ± 2 мм от номинального, то оно может привести к изменению скорости его плавления примерно только на ± 3 г/мин.

Таким образом, возможные изменения диаметра стержня при изготовлении его по существующей технологии не окажут влияния на химический состав наплавленного металла. Проведенное дополнительное исследование химического состава наплавленного металла с использованием керамических стержней диаметром 14 и 18 мм показало, что переход легирующих элементов (углерода, кремния и марганца) при указанном повышении диаметра стержня возрастает незначительно, примерно на 3—5% среднего содержания этих элементов в наплавленном металле.

Полуавтоматическая сварка с использованием керамических стержней обладает достаточной маневренностью. При этом сохраняется возможность изменения в широком диапазоне химического состава и свойств наплавленного металла путем изменения содержания раскисляющих и легирующих элементов в составе керамических стержней. Химический состав наплавленного металла при использовании проволоки Св-08 зависит от количества стержня, расплавляемого в единицу времени, и характеризуется коэффициентом массы стержня, т. е. отношением массы стержня, расплавляемого в единицу времени, к массе расплавляемой за то же время проволоки.

Ширина диапазона значений сварочного тока и скоростей подачи проволоки позволяет применять процесс для заварки ванн способом дефектов преимущественно средних размеров с площадью наплавленного металла 30—50 см². Еще больший практический интерес вызывает механизированная сварка с использованием керамических стержней при исправлении дефектов небольших объемов, когда наплавку выполняют послойно, обратнопоступательным движением, укладывая последующие слои на горячие предыдущие.

При заварке дефектов небольших размеров, когда нельзя создать жидкую ванну большого объема, механизированная сварка проволокой Св-08 с использованием керамических стержней, а также механизированная сварка порошковой проволокой не обеспечивают необходимое качество сварного соединения.

В работах ИЭС им. Е. О. Патона показано, что увеличение скорости сварки при использовании проволоки ППАНЧ-2 (на пластины толщиной 30 мм) с 4 до 9 м/ч приводит к заметному снижению степени графитизации наплавленного металла, причем форма графита меняется: вместо розеточного и междендритного завихренного графита появляется мелкий компактный графит. Металлическая основа состоит из ледебурита и отдельных участков троостита и становится сплошь ледебуритной при увеличении скорости сварки до 18 м/ч. В этом случае графит встречается в виде отдельных точечных включений.

Таким образом, при послойной сварке чугуна, когда время существования жидкого металла на стадии сварочной ванны сокращается, невозможно обеспечить содержание углерода в металле шва, необходимое для получения качественного сварного соединения. Это отмечалось еще К. В. Любавским. Для уточнения этого положения можно определить скорость охлаждения металла

$$\omega = \frac{2\pi\lambda(T - T_0)}{q/v},$$

где ω — мгновенная скорость охлаждения при данной температуре, °С; T — температура, при которой определяется мгновенная скорость охлаждения, °С; T_0 — температура предварительного нагрева, °С; λ — коэффициент теплопроводности, кал/с·°С; q — эффективная тепловая мощность, кал/с; v — скорость сварки, см/с.

Так как для заварки дефектов небольших размеров требуется меньшая погонная энергия, то и скорость охлаждения, при прочих равных условиях, увеличивается. Даже при предварительном нагреве до температуры 500° С скорость охлаждения составляет 10—17° С/с, что значительно выше скорости охлаждения чугуна при изготовлении отливок. Исследования, проведенные по определению особенностей послойной сварки чугуна порошковой показали, что при нормальной скорости сварки (0,5—1,0 см/с) содержание углерода в наплавленном металле не превышает 3%, вследствие чего образуется структурно-свободный цементит в зоне сплавления и повышается твердость сварного соединения. Поэтому возникла необходимость в изыскании нового присадочного материала для послойной сварки чугуна. Содержание углерода в наплавленном металле при послойной наплавке несколько ниже, чем при сварке ванным способом, кроме того, в начале и в конце процесса сварки, когда стержень может «зависнуть», в наплавленном металле часто образуются включения стали, отличающиеся высокой твердостью.

Сочетание благоприятных условий легирования при сварке порошковой проволокой и промывающего действия шлаковой системы, газовой защиты, а также возможности перехода легирующих компонентов на периферии сварочной ванны при сварке с использованием керамических стержней дают положительные результаты, что подтвердилось исследованием способа сварки порошковой проволокой марки ППЧ-3М с использованием керамических стержней марки СКЧ-3. При скорости сварки в пределах 0,5—1 см/с обеспечивается содержание углерода в наплавленном металле в пределах 3,3—3,45%. Сварку выполняли модернизированным полуавтоматом А-1197 на режиме: $I_{св} = 250 \div 350$ А; $I_{д} = 36 \div 40$ В; $v_{мп} = 150 \div 180$ м/ч; КВС = 15÷25%, диаметр порошковой проволоки 2,9—3,2 мм. При исправлении дефектов полуавтоматической сваркой с использованием керамических

стержней (рис. 17) разделку дефектов под сварку, подогрев перед сваркой осуществляют с выполнением тех же требований, что и для горячей сварки чугунами электродами и порошковой проволокой.

Собственно процесс сварки порошковой проволокой с использованием керамических стержней осуществляется следующим образом. Дугу зажигают на расстоянии 10—20 мм от края дефекта. Процесс наплавки ведут возвратно-поступательным движением. В процессе наплавки необходимо следить за равномерностью расплавления стержня и отдельных его частей, попадающих в ванну. Масса расплавленного стержня должна составлять 20—25% массы расплавленной проволоки. Место зажигания дуги необходимо переплавить дважды. Скорость перемещения электрода нужно сочетать с проплавлением основного металла, для чего наплавку выполняют в два-три прохода с образованием полужидкого расплава. Заканчивая наплавку, дугу следует переместить в центральную часть расплава.

В процессе наплавки и по ее окончании необходимо проследить за состоянием расплава: наличие кусков стержня на поверхности наплавленного металла свидетельствует о нека-

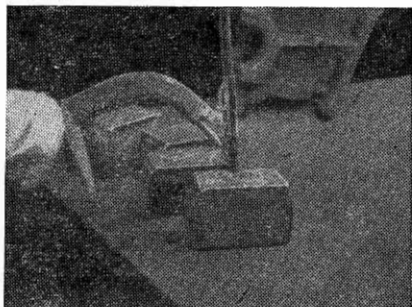


Рис. 17. Заварка отливок полуавтоматической сваркой с использованием керамических стержней

качественном стержне (отсырел, растрескался) — требуется просушить стержни; наличие на поверхности наплавленного металла «столбиков» шихты порошковой проволоки свидетельствует о превышении нормы скорости подачи проволоки и неравномерном коэффициенте заполнения проволоки — необходимо отрегулировать режим сварки и токосъем (обеспечить контакт); наличие вспучивания и порообразования свидетельствует о повышенном коэффициенте заполнения проволоки, высокой доли участия стержня, повышенной скорости подачи проволоки, плохом токосъеме — следует отрегулировать режим, заменить проволоку; недостаточное количество шлака на поверхности наплавленного металла свидетельствует о зависании стержня или недостаточной доле его участия, а также о повышенной скорости заварки — необходимо отрегулировать режим и повторить заварку.

Горячая газовая сварка. С применением присадочных чугунных прутков исправляют дефекты небольших и средних размеров (рис. 18) на рабочих и нерабочих поверхностях отливок до и после их механической обработки, но при наличии припуска на последнюю 2—5 мм.

Место, подлежащее заварке должно быть чисто вырублено, а трещины должны быть прорублены со снятием фасок. Детали перед заваркой нагревают так же, как и при горячей электро-сварке, в подобных же нагревательных устройствах.

Нагрев (до температуры 650°C) преследует следующие цели: расплавить горелкой уже подогретую деталь, не расходуя на подогрев кислород и ацетилен; не допустить образования внутренних напряжений, которые неизбежно возникали бы при местном разогреве горелкой, и тем самым избежать образования трещин; устранить возможность образования отбела, так как в разогретой отливке теплоотдача от места заварки в массу изделия значительно замедляется; ускорить цикл сварки и улучшить качество

наплавленного металла, так как подогретый чугун легко плавится и очищается от земли и шлака.

Разогретую деталь устанавливают в наиболее удобное для заварки положение. Источником теплоты для расплавления основного и присадочного металла служит пламя сварочной горелки, образующееся при сгорании ацетилена или его заменителей, в атмосфере кислорода и развивающее достаточно высокую температуру.

Мощность пламени (ацетилено-кислородного) в зависи-

мости от площади дефекта регулируют подбором соответствующего наконечника: для дефектов площадью до 5 см^2 наконечник № 5; $5\text{—}25\text{ см}^2$ — № 6; свыше 25 см^2 — № 7 и 8. Кроме площади дефекта на выбор мощности влияет и толщина стенки детали, на которой расположен дефект. Как правило, при толщине стенки свыше 30 мм во всех случаях применяют наконечники № 6—7.

Диаметр присадочных прутков выбирают в зависимости от мощности пламени и площади дефекта: для дефектов площадью до 20 см^2 диаметр прутка $6\text{—}8\text{ мм}$; $20\text{—}60\text{ см}^2$ — $10\text{—}12\text{ мм}$; свыше 60 см^2 — $14\text{—}16\text{ мм}$.

Форма сечения прутка при сварке не оказывает заметного влияния на ведение процесса.

Процесс сварки начинают с прогрева основного металла вокруг дефекта пламенем горелки до светло-красного цвета (850°C). Затем пламя сосредотачивают на поверхности разделки, доводят ее до плавления. Пламя должно быть нормальным, расплавление осуществляют восстановительной частью пламени ($2\text{—}3\text{ мм}$ от светящегося ядра). Стенки дефекта расплавляют и с помощью

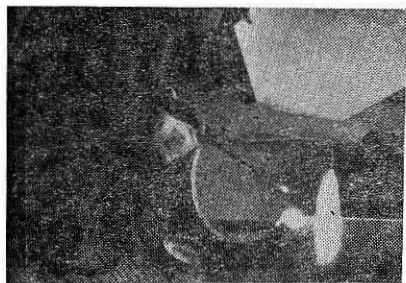


Рис. 18. Газовая заварка отливок с присадкой чугуниного стержня

чугунного присадочного прутка очищают от неметаллических включений, после чего дефект заполняют расплавленным присадочным материалом с периодическим добавлением флюса на кончике прутка.

Сварку следует вести ванным способом, так как это благоприятно сказывается на плотности и структуре сварного соединения. Однако при заварке краевых дефектов (бобышки, платики, бортики, уголки) поддерживать ванну в жидком состоянии весьма затруднительно. Сварщик, маневрируя пламенем горелки, прут-

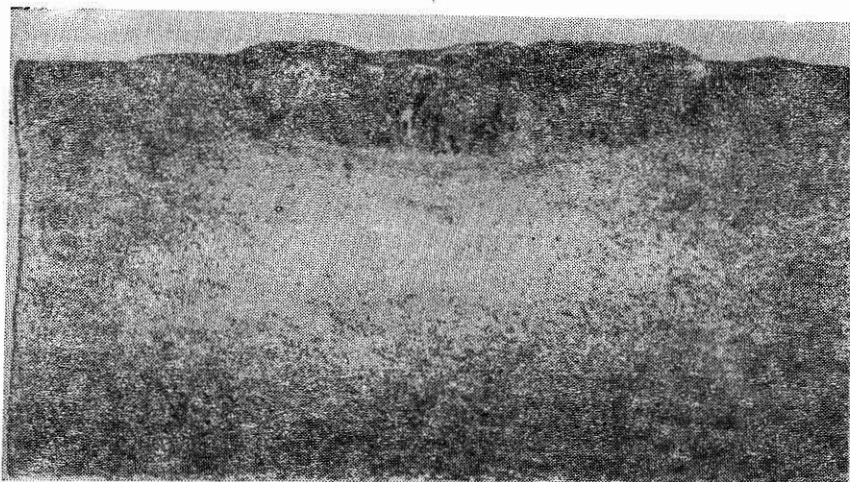


Рис.19. Пористость губчатого вида

ком, не должен допускать стекания жидкого металла. В начальный момент угол наклона прутка к поверхности изделия составляет примерно 80° , а затем постепенно уменьшается почти до 0° . В этом случае целесообразно, чтобы наплавленный металл находился в полужидком состоянии, для чего необходимо прерывать процесс нагрева для некоторого охлаждения ванны.

Послойная наплавка со значительными перерывами может привести к образованию шлаковых прослоек между слоями или даже к несплавлению. Наплавленный металл должен возвышаться над основным металлом не менее чем на 3 мм. Для выравнивания наплавленный металл шва прогревают пламенем горелки и натеки удаляют чугуном прутком.

В процессе сварки сам сварщик может контролировать наличие газовых включений в расплавленном металле. Для этого уже после наведения жидкой ванны пламенем горелки металл несколько вытесняют таким образом, чтобы обнажилось дно ванны, при этом могут выявиться газовые пузыри (рис. 19), которые указывают на низкое качество присадочного прутка или сварив-

ваемого металла. В этом случае следует сменить присадочный пруток и удалить (выплеснуть) весь ранее наплавленный металл. В отдельных случаях газы удаётся удалить путем увеличения времени существования жидкой сварочной ванны (табл. 28).

Т а б л и ц а 28. Возможные дефекты и причины их возникновения

Дефекты	Причины возникновения
<p>Пористость губчатого характера Чернота и поры в зоне сплавления основного и наплавленного металлов Отбел в наплавленном металле и зоне сплавления</p> <p>Повышенная твердость в наплавленном металле Трещины в наплавленном и основном металлах вблизи заварки Поверхностные дефекты (неудаляемые механической обработкой)</p>	<p>Некачественный присадочный металл</p> <p>Недостаточная расчистка поверхности дефекта пламенем горелки. Недостаточное раскисление добавками флюса Недостаточный подогрев основного металла. Недостаточно замедленный переход жидкого металла в твердое состояние Незамедленное остывание наплавленного металла в интервале 800—650° С Недостаточный нагрев отливок до заварки. Высокая скорость охлаждения отливки после заварки. Отсутствие отжига после заварки Наплавленный металл недостаточно выступает над поверхностью отливки</p>

Для обеспечения нормальной твердости сварного соединения необходимо после сварки замедлить скорость охлаждения металла в интервале температур соответствующих перлитным превращениям. С этой целью горелку медленно отводят от поверхности ванны на расстояние 50—100 мм и наплавленный металл выдерживают под воздействием пламени в течение 0,5—1,5 мин. Процесс замедленного охлаждения хорошо контролируется визуально. При наблюдении через светофильтры защитных очков по периферии шва должно образовываться темное кольцо охлаждающегося металла. После того, как это кольцо распространится в центр наплавки, можно отводить горелку. При этом можно считать, что перлитные превращения в металле шва в основном закончились. Наплавленный металл для замедленного охлаждения засыпают сухой землей, а деталь прикрывают листовым асбестом.

При исправлении отливок сложной конфигурации большой трещины для уменьшения напряжений и предупреждения образования трещин после сварки отливки рекомендуется подвергать вторичному нагреву (отжигу) в горне или печи при температуре 650—750° С, охлаждение вместе с горном (печью).

Исследованы особенности сварки газами-заменителями ацетилена при использовании пропан-бутана и природного (сетового) газа. Неясно выраженное ядро пламени, образуемое при сгорании газов-заменителей с кислородом создает трудности и требует известного навыка при регулировке мощности и характера пла-

мени. Поэтому при переходе от ацетиленовых газов к газам-заменителям рекомендуется для обучения сварщиков в газовые линии включать ротаметры, которые дают ориентир расхода газов и настройки пламени горелки. В дальнейшем сварщик, имея практические навыки, определяет характер пламени по его виду.

Менее концентрированное пламя (по сравнению с ацетиленокислородным пламенем) создает более широкую зону прогрева основного металла в зоне сварки, что в условиях сварки чугуна делает процесс более «мягким». Пламя, образованное газами-заменителями, более устойчиво в работе, так как вследствие низкой скорости воспламенения маловероятно возникновение обратных ударов, что особенно важно при горячей сварке в условиях значительного нагрева мундштука и ствола горелки.

Глава VI

Технологические процессы пайно-сварки и пайки чугуна

В отечественной практике наряду с обычными методами горячей и холодной сварки применяют низкотемпературные газопламенные процессы пайно-сварки чугунами и латуновыми присадочными материалами (припоями), а также наплавочными порошковыми сплавами методом газопорошковой наплавки. Низкотемпературные процессы пайно-сварки осуществляют без расплавления основного металла. Расплавляют только присадочные материалы. Эти процессы основаны на использовании термической гибкости кислородно-ацетиленового пламени, позволяющего выполнять независимый нагрев основного и присадочного металлов, зон пламени с различными теплофизическими свойствами, флюсов и присадочных материалов, содержащих поверхностно-активные элементы.

Капли расплавленного присадочного металла, попадая на основной металл, разогретый ниже температуры солидуса припоя, и соприкасаясь с ним, отдают ему часть своей теплоты, вследствие чего повышается температура поверхностного слоя основного металла. Капля жидкого припоя под действием флюса и давления пламени легко растекается тонким слоем по основному металлу. Часть жидкого металла под действием капиллярных сил заполняет пустоты, образующиеся в чугуне в результате поверхностного выкрашивания или окисления графита.

Графит на поверхности чугуна может окисляться под действием кислорода пламени, если оно имеет окислительный характер, или в результате взаимодействия с флюсом. Отрицательное влияние свободного графита на процесс смачивания устраняют активными добавками, вводимыми во флюс. Флюс, взаимодействуя со свободным углеродом, разрыхляет последний, что,

в свою очередь, снижает межфазную поверхностную энергию и улучшает условия смачивания. Графитовый углерод высвобождает металлическую основу. Закалывание наплавленного металла в капиллярах основного металла, а также взаимная диффузия атомов на границе сплавления и обуславливают прочное паяносварное соединение.

Для осуществления диффузионного процесса, без чего невозможно образование металлических связей на границе жидкой и твердой фаз, необходимо сближение атомов металла на расстоянии действия межатомных сил. Для этого поверхность основного металла должна быть свободной от окисных покровов и других загрязнений; дефекты к сварке готовят механическим путем (вырубкой, фрезерованием, сверлением, строганием). Наибольшее распространение получили сверление и вырубка пневматическим зубилом. Острые сверла притупляют с тем, чтобы профиль разделки можно было равномерно прогревать пламенем, в результате чего обеспечиваются свободный доступ и выход газов в сторону от наконечника горелки.

Пайко-сварка чугунной присадкой. В результате работы, проведенной ВНИИАВТОГЕНМАШем в содружестве с заводом «Станколит» разработан метод низкотемпературной пайко-сварки чугуна чугунной присадкой, нашедшей применение при исправлении дефектов на механически обработанных рабочих поверхностях, подвергающихся и не подвергающихся поверхностной закалке.

При низкотемпературной пайко-сварке расплавляется только присадочный пруток, основной же металл не доводится до расплавления. Подготовленная под сварку поверхность нагревается пламенем горелки до 850—950° С. Расплавленный присадочный чугун не образует жидкой ванны, наплавка осуществляется каплями металла, которые, попадая на нагретый основной или ранее наплавленный металл, растекаются по поверхности. Наплавленный металл имеет структуру серого чугуна.

При низкотемпературной пайко-сварке, не связанной с расплавлением основного металла, дефектное место тщательно зачищают механическим способом до чистого металла. При газовой заварке дефектов с расплавлением основного металла, оправдывает себя методика подготовки дефекта, включающая вырубку немаллических включений пневматическим зубилом и окончательную расчистку раковины с помощью чугунного прутка и пламени газовой горелки. Последняя операция предшествует операции наплавки.

Наплавку ведут по следующей схеме. Место, подлежащее заплавлению (после соответствующей разделки), нагревают пламенем горелки до цвета светло-красного каления и в зону нагрева вводят флюс. При достаточном нагреве основного металла флюс, расплавляясь, растекается тонким слоем по нагретой поверхности и приобретает блестящий оттенок, что свидетельствует о готовности поверхности к наплавке. Нагревая поверхность

раковины, необходимо учитывать, что сильнее будет прогреваться та часть поверхности, к которой пламя направлено перпендикулярно. Сварщик, начиная процесс наплавки с наиболее прогретой части поверхности, заправляет и ту часть поверхности, которая прогрета недостаточно. В результате в зоне соединения основного и наплавленного металлов в той части наплавки, где был недостаточный нагрев, образуются мелкие раковины, обнаруживаемые при механической обработке заваренной поверхности.

Поры могут возникать вследствие неправильного профиля разделки. При глубоких и узких разделках (рис. 20), не имеющих выхода для пламени, донная часть прогревается недостаточно, а верхняя перегревается и доводится до плавления. Такое состояние обманчиво действует на визуальные ориентиры сварщика.

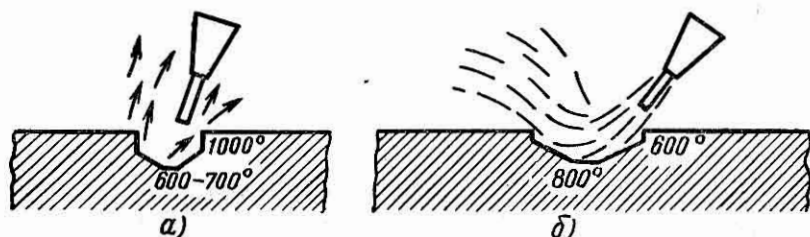


Рис. 20. Разделка для низкотемпературной пайко-сварки:

а — неправильная; б — правильная

Наплавленный металл и в этом случае будет иметь поры, берущие начало от корня разделки. Расплавляя присадочный пруток, одновременно периодически вводят дополнительно флюс; при этом капли жидкого металла раскисляются и повышается их жидкотекучесть. Наплавку ведут без перерывов. Если по каким-либо причинам процесс наплавки приостановлен, то при его возобновлении следует очистить поверхность от шлака и окисной пленки зубилом и стальной щеткой.

По окончании наплавки пламя горелки отводят на 50—100 мм и продолжают нагрев металла в течение 0,5—1 мин с целью замедления скорости охлаждения в интервале перлитных превращений. Окончательное охлаждение протекает на спокойном воздухе. В необходимых случаях для предотвращения поводки обработанной поверхности и трещин в наплавке применяют предварительный нагрев детали до температуры 300—350° С. Применяют также проковку наплавленного металла в горячем состоянии пневматическим молотком.

Как показала практика работы, если процесс наплавки сопровождается значительным прогревом основного металла, то площадь завариваемого участка может быть доведена до 20—25 см² без образования трещин. Если раковина разделана некачественно

(неметаллические включения удалены неполностью), то наплавленный металл в этих местах не соединяется с основным металлом, а «зависает», создающиеся при этом напряжения приводят к образованию трещины.

При низкотемпературной пайко-сварке дефектов на направляющих станков, подвергающихся поверхностной высокочастотной закалке, применяют ту же методику наплавки, что и на незакаливаемых поверхностях. После закалки наплавленный металл имеет структуру и твердость, соответствующие требованиям. Основной металл имеет перлитную структуру. Глубина закаленного слоя составляет 1,5—2 мм. Твердость закаленного слоя основного металла на темплете поперечного разреза направляющей станины *HRC* 44—49, твердость сварного соединения *HRC* 42—55.

Структура наплавленного металла после закалки — мелкий и точечный графит, игольчатый мартенсит и аустенит; зоны термического влияния — графит в виде изолированных и произвольно расположенных включений длиной 25—60 мкм; перлит-сорбитообразный и мелкопластинчатый.

Для получения постоянных высоких качественных показателей наплавленного металла операции технологического процесса низкотемпературной газовой пайко-сварки выполняют в следующем порядке. Нагреть стенки в месте расположения дефекта до температуры 600°С нормальным пламенем горелки (темнокрасный цвет), применять наконечники № 4 и 5. В случаях массивных деталей или сложной конфигурации применять предварительный общий нагрев детали до температуры 300—400°С. Нанести флюс, отвести горелку с тем, чтобы не выдуть флюс из дефекта. Довести температуру нагрева до 850—950°С (светлокрасный цвет), добавляя флюс. Расплавленный флюс должен равномерно покрывать стенки дефекта тонкой пленкой, что служит показателем готовности поверхности.

Не прекращая нагрева завариваемого места, нагреть конец присадочного прутка, опустить его во флюс; перенести в дефектное место и расплавить конец прутка; капли расплавленного металла, растекаясь по поверхности дефекта, образуют прочное соединение с основным металлом. Следить за тем, чтобы основной металл не расплавлялся. За первым слоем заправляют весь объем дефекта с добавлением флюса.

Наклон горелки и расстояние пламени изменяют в зависимости от условий пайко-сварки. Наплавленный металл должен возвышаться над поверхностью детали на 2—3 мм.

По окончании пайко-сварки отвести пламя горелки на расстояние 50—60 мм, прогреть наплавленный слой и прилегающий участок основного металла, замедляя охлаждение.

Исправленное место засыпать сухой землей или накрыть листом асбеста, при необходимости для стабилизации напряжений исправленную деталь в месте расположения дефекта вторично

нагреть до температуры 400—500° С с последующим медленным охлаждением.

Латунными присадочными материалами пайко-сварку чугуна целесообразно выполнять при исправлении дефектов отливок и ремонте деталей, когда разница в цвете и твердости основного и наплавленного металлов не является ведущим показателем.

Значительное преимущество пайко-сварки чугуна латунию перед сваркой плавлением: температура процесса пайко-сварки и нагрева чугуна ниже температуры плавления латуни, благодаря чему не возникает существенных изменений структуры металла детали и значительных термических напряжений.

Дефекты готовят вырубкой, скос кромок — под углом $\approx 45^\circ$. При глубоких дефектах рекомендуется ступенчатая разделка.

Процесс пайко-сварки осуществляют в следующем порядке. Кромки нагревают, посыпают флюсом и облуживают участками, натирая прутком латуни. При этом пламя должно быть нейтральным. Процесс ведут снизу вверх. По окончании процесса металл следует прогреть по контуру соединения, укрыть асбестом и дать медленно остыть. Мощность пламени обычно подбирают в пределах возможностей наконечников № 4 и 5.

В качестве присадочного материала используют припой ЛОМНА, Л63 или ЛОК59-1-03, которые обеспечивают получение более плотного наплавленного металла и бездымный процесс. В качестве флюса может быть применен ФПСН-2 или МАФ-1.

Поверхность дефекта вначале прогревают слегка окисленным пламенем до температуры 450—500° С, затем в разделку вносят флюс, который расплавляется удаленной от ядра частью факела пламени. После полного расплавления флюса в наиболее горячей зоне пламени расплавляют сплав ЛОМНА и движением горелки по спирали заполняют разделку. Горячий наплавленный металл проковывают ручным медным молотком.

Низкотемпературная пайко-сварка припоями ЛОК и ЛОМНА практически обеспечивает отсутствие необратимого роста чугуна и тем самым сохранение геометрических размеров чугунных изделий после исправления дефектов или ремонта. Исправление дефектов не влечет серьезной дополнительной механической обработки и не снижает работоспособности деталей.

Дефекты разделяют под пайко-сварку с помощью сверла, имеющего закругленную режущую часть до полного удаления неметаллических включений. После полного охлаждения детали усиление шва снимают шлифовальной машинкой. Наплавленный металл поддается шабрению.

Пайка оловянно-свинцовыми припоями и сплавом Ц. Применительно к исправлению дефектов в чугунных деталях пайки легкоплавкими оловянно-свинцовыми припоями ПОС-30, ПОС-40, Ц и другими имеет ограниченное применение. Наибольшие труд-

ности при осуществлении этого процесса связаны с плохим смачиванием чугуна легкоплавкими припоями в результате наличия на поверхности чугуна свободного графита. Для улучшения процесса смачивания при пайке оловянными припоями необходимо выжигать графит и применять высокоактивные флюсы состава: 60% хлорида аммония; 40% хлористого цинка либо на поверхность чугуна наносить промежуточный слой, например, меди.

Перед пайкой поверхность дефекта тщательно зачищают и с целью частичного выжигания графита прогревают окислительным ацетилено-кислородным пламенем. Это может быть достигнуто также обработкой поверхности концентрированной соляной кислотой. Образующийся в результате подготовительной обработки налет на поверхности удаляют металлической щеткой. Нагрев при пайке можно осуществлять ацетилено-кислородной горелкой, пламенем сварочной горелки или паяльной лампой и электропаяльником.

А. В. Морозов предложил способ безэлектролизного омеднения поверхности чугуна для подготовки под пайку оловянными припоями. Для этого на поверхность, подлежащую омеднению, кисточкой наносят один из растворов, приведенных в табл. 29.

Т а б л и ц а 29. Состав раствора для безэлектролизного омеднения чугуна

Компоненты	Раствор в частях		
	1	2	3
Серная кислота	20	20	20
Азотная кислота	4	28	30
Соляная кислота	1	—	2
Поваренная соль	—	1	3
Сернокислый цинк	—	1	—
Металлическая медь	3	2	3
Вода	80	100	120

Через 3—5 с в результате реакций замещения на поверхности чугуна осаждается довольно прочный и плотный слой меди толщиной в несколько микрометров. Омедненный слой промывают водой и протирают кисточкой или тампоном, смоченным соляной кислотой.

Дефекты паяют припоем ПОС-30. Прочность паяного соединения на чугуне, полученного при таком методе подготовки, достаточно высокая. Соединение плотное и выдерживает нагрев до температуры 180° С. Относительно крупные дефекты рекомендуется исправлять с применением чугунных вставок, для чего на подготовленную омедненную поверхность накладывают предварительно омедненную и облуженную вставку. Прогревая вставку и добавляя припой, соединяют оба металла.

Цинковые припой применяют для заделки дефектов небольших размеров, вскрывшихся в процессе механической обработки посадочных поверхностей деталей. В отдельных случаях можно применить этот сплав для декоративной заделки, а также при исправлении несплошностей изделий, работающих при давлениях до 6 кг/см^2 . Поверхность места пайки и прилегающей зоны очищают от загрязнений, окалины и окисной пленки. Желательный угол разделки 30° . Для нагрева используют пламя ацетилено-кислородной горелки или горелки, работающей на газах-заменителях, и наконечники № 3—5.

В процессе пайки деталь устанавливают в зоне действия вытяжной вентиляции с таким расчетом, чтобы разделенное под пайку место находилось в горизонтальной плоскости. Поверхность разделенной раковины и металл в районе дефекта прогревают горелкой до температуры $300\text{—}350^\circ \text{C}$, наносят на поверхность дефекта флюс. Плавление флюса служит показателем достижения требуемой температуры. Если флюс не плавится, то нагрев продолжают.

Во избежание выдувания флюса нагрев осуществляется не ядром, а факелом пламени. Угол наклона горелки $50\text{—}60^\circ$. Концом прутка, не доводя его до плавления, равномерно распределяют флюс на поверхности дефекта, облуживают стенки дефекта путем трения прутком.

Весь объем раковины заполняют жидким металлом расплавленного припоя, который периодически добавляют в ванну. При заполнении объема дефекта металл непрерывно перемешивают прутком; после заполнения пламя горелки отводят и продолжают прогревание. Наплавленный металл выдерживают в жидком состоянии в течение 2—3 мин, после чего металл застывает.

Газопорошковая наплавка. Исправление дефектов, выявленных на финишных операциях механической обработки отливок из серого чугуна, сопряжено с большими трудностями. Это обусловлено тем, что известные, широко применяемые для исправления дефектов отливок способы сварки и пайко-сварки чугуна оказываются нетехнологичными для устранения указанных дефектов, что приводит к браку. В подобных случаях лучших результатов достигают применением самофлюсующихся порошковых сплавов, наносимых способом газопорошковой наплавки (рис. 21). При разработке порошковых сплавов и процесса их нанесения учитывали особенности исправления дефектов на механически обработанных поверхностях чугунных деталей.

Наплавочные самофлюсующие порошковые сплавы типа НПЧ разработаны в нашей стране впервые и их использование в процессе газопорошковой наплавки представляет новизну.

Сущность процесса заключается в том, что самофлюсующий порошковый сплав наносят на поверхность дефекта посредством подачи его через пламя специальной ацетиленовой горелки. Процесс осуществляется при незначительном тепловложении

в основной металл, не приводящем к его расплавлению и остаточным деформациям изделия. Процесс можно выполнять во всех пространственных положениях, он прост в осуществлении и не требует больших затрат при его внедрении.

Наплавленный металл плотный, по цвету близок к чугуну, поддается обработке резанием. Предел прочности на разрыв составляет 24—27 кгс/мм². Применение никелевых сплавов на рабочих поверхностях отливок потребовало оценить износостойкость сварных соединений при наличии такой разнородности металлов. Износостойкость паяно-сварных соединений, выпол-

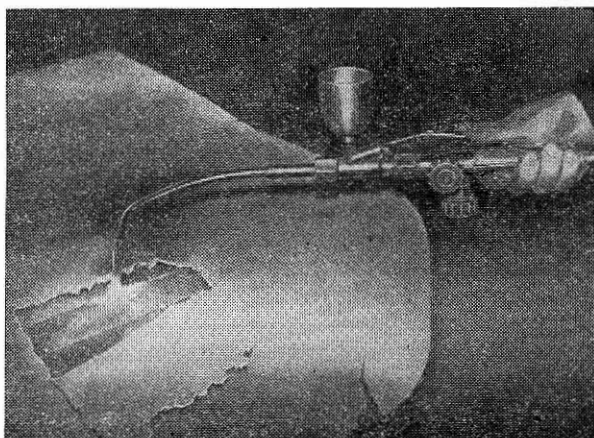


Рис. 21. Исправление дефекта на направляющей станины

ненных порошковыми сплавами типа НПЧ, соизмерима с износостойкостью чугуна СЧ 21-40. Микроструктура наплавленного металла представляет собой твердый раствор на основе никеля и сложной тройной эвтектики мелкозернистого строения. Окисные включения и неоплавившиеся зерна порошка отсутствуют. Перемешивания наплавленного металла с основным не происходит.

Дифференциальная дилатограмма, снятая при нагреве наплавленного металла до температуры 950° С с последующим охлаждением, показала, что в сплавах при указанных температурах отсутствуют фазовые превращения и протекают незначительные объемные изменения, не приводящие к деформациям свариваемого изделия. В интервале температур 20—600° С коэффициент линейного расширения сплавов близок к коэффициенту линейного расширения чугуна. Естественное старение наплавленных образцов показало, что цвет наплавки при выдержке образцов в течение полугода не меняется.

Порошковые сплавы НПЧ-1, НПЧ-2, НПЧ-3, НПЧ-4 предназначены для исправления дефектов на обработанных поверх-

ностях отливок, не подвергающихся высокочастотной поверхностной закалке. Сплав НПЧ-1 обеспечивает твердость *HV* 190—240, сплавы НПЧ-3 и НПЧ-4 — *HV* 180—200 и *HV* 190—220 соответственно. Порошковый сплав марки НПЧ-2 (*HV* 360) предназначен для исправления дефектов на поверхностях, подвергавшихся поверхностной высокочастотной закалке.

Порошковые сплавы поставляют в железной герметически закрывающейся таре и хранят в сухом помещении при положительной температуре. После каждого отбора порошка из тары последнюю снова тщательно закрывают. Для работы порошок насыпают в рабочий бункер. Перед постановкой бункера с порошком на горелку последний необходимо энергично встряхнуть 2—

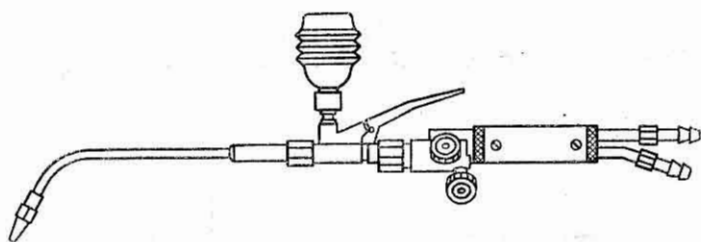


Рис. 22. Общий вид горелки ГАЛ для газопорошковой наплавки

3 раза. Рекомендуется, во избежание зависания, порошковые сплавы просеять через сито 0,1 (размер стороны квадрата 100 мкм).

Горелки, применяемые для газопорошковой наплавки (ГАЛ-2-68 и ГАЛ-4-72), имеют осевую подачу порошка и состоят из корпуса с бункером для порошка, мундштука и рукоятки. Рукоятка в горелках типа ГАЛ — стандартная от горелки «Звезда». Горелки типа ГАЛ работают по принципу двойной инжекции: первая инжекция кислородной струи для подсоса порошка из бункера, а вторая — для подсоса ацетилена кислородопорошковой смесью (рис. 22, табл. 30).

Рабочие газы при наплавке: осушенный ацетилен в баллонах и технический кислород. При отсутствии ацетилена в баллонах может быть применен ацетилен, получаемый от генераторных станций или переносных генераторов среднего давления, например марки АСМ, снабженный сухим затвором типа ЛЗС-1-68.

Разделку дефекта под наплавку осуществляют ручным или пневматическим зубилом, рассверливанием специально заточенными сверлами, ручной шлифовальной машинкой с набором мелких наждачных камней. Разделанная поверхность должна быть ровной, стенки разделки должны быть пологими, с закругленными краями. Неметаллические включения необходимо удалять до «здорового» металла. Форма разделанного дефекта должна обеспечивать свободное манипулирование горелкой. Поверхность основного металла в месте разделки и прилегающую к нему зону

шириной не менее 20 мм следует тщательно зачищать от окалины, ржавчины, грязи и др. Следы жиров необходимо удалять растворителями.

Т а б л и ц а 30. Техническая характеристика горелок ГАЛ-2-68 и ГАЛ-4-72 для газопорошковой наплавки

Параметр	Подача порошка инжекционная			Подача порошка внешняя
	№ 3	№ 4	№ 6	№ 6
№ наконечника				
Минимальная толщина наплавляемого слоя, мм	0,05—0,2	0,2—0,5	0,8—1,2	0,5—0,8
Давление, кг/см ² :				
кислорода	2—4	2—4	2—5	2—5
ацетилена	0,1—0,25	0,1—0,25	0,1—0,25	0,1—0,25
Расход, л/ч:				
кислорода	250—450	460—800	900—1900	900—1900
ацетилена	230—400	400—750	950—1800	950—1800
Расход порошка, г/мин	До 25	До 30	До 60	До 60
Насыпная масса порошка в баллоне горелки, г	330	330	330	330

Технологический процесс наплавки включает местный подогрев поверхности дефекта пламенем горелки до температуры 400—450° С. Облуживание с целью предохранения поверхности от окисления заключается в том, что горелку с полностью открытым порошковым рычагом следует быстро пронести над нагретой поверхностью, при этом выдуваемый металлический порошок образует тончайший слой на поверхности детали: наплавку ведут с прерывистой подачей порошка. Пульсация необходима для обеспечения полного расплавления зерен порошкового сплава.

Перед началом операции наплавки пламя должно быть установлено таким образом, чтобы горючего газа в нем было примерно вдвое больше, чем кислорода. В этом случае пламя при подаче порошка приближается к нормальному. При установке нормального пламени горелки в момент пуска порошка в силу изменения скоростей газовой инжекции пламя становится окислительным. Момент начала наплавки устанавливают визуально. Ориентиром служит появление признаков расплавления облуженного слоя. Горелке придается перпендикулярное положение относительно поверхности детали.

Заплавление дефекта следует начинать с центра и по мере заполнения переходить к краям до полного выравнивания с поверхностью здорового металла или превышения уровня на 1—1,5 мм. После окончания заплавления дефекта необходимо прогреть исправленное место и зону, прилегающую к наплавке, пламенем горелки и проковать вручную наплавленный металл.

При исправлении дефектов, превышающих оптимально установленные размеры (до 20 см²), целесообразно применять комбинированный метод наплавки, при котором весь объем дефекта заправляют электродами на никелевой основе, а верхнюю часть дефекта (5 мм) наплавляют порошковым сплавом. Наплавленный металл должен возвышаться над основным на 1—1,5 мм. По окончании наплавки отвести пламя горелки на расстояние 50—60 мм и прогреть наплавку и прилегающий участок основного металла. Исправленное место проковать легкими ударами закругленного молотка. Проковку вести строго по исправленному месту, не затрагивая обработанной поверхности основного металла. Наплавленный слой вручную довести до уровня обработанной поверхности.

Качество наплавленного металла контролируют на плотность визуально и на соответствие твердости переносными приборами для замеров твердости. Нарушение на отдельных этапах требований технологического процесса может вызвать дефекты в наплавленном металле (табл. 31).

Т а б л и ц а 31. Возможные дефекты и причины их возникновения

Дефекты	Причины возникновения
Несплавление с основным металлом (налипание)	Не соблюдение требований к подготовке поверхности. Недостаточно нагрета поверхность дефекта. Горелка при работе не перпендикулярна к поверхности дефекта. Чрезмерная удаленность ядра пламени горелки от поверхности, неравномерная подача порошка
Поры и повышенная твердость участков наплавки	Несоблюдение требования к хранению порошка (окисленный порошок). Перегрев основного металла. Ведение процесса окислительным пламенем. Перегрев металла в отдельных зонах наплавки

При выполнении работ по наплавке газопорошковым методом должны соблюдаться все требования техники безопасности при производстве газосварочных работ.

Глава VII

Получение наплавленного металла — не чугуна, поддающегося обработке

При осуществлении холодной электродуговой сварки все металлургические процессы в сварочной ванне завершаются в течение секунд. Кристаллизация наплавленного металла протекает в условиях очень быстрого охлаждения. В связи с этим в процессе холодной сварки чугуна стальными или чугунными

электродами наплавленный металл, как правило, имеет высокую твердость, исключаяющую возможность обработки резцом. В зоне термического влияния образуются трещины, ослабляющие сварное соединение.

В практической работе часть трудностей, связанная с получением твердой и непрочной наплавки, преодолевается применением различных электродов из цветных и других специальных сплавов (медно-никелевых, железоникелевых, медно-стальных и др.). Однако применяя электроды на медно-никелевой, медно-стальной, железоникелевой основах, необходимо помнить, что медь и никель являются дефицитными материалами, использование которых для сварки чугуна создает безвозвратный расход меди и никеля. Поэтому расходование электродов на их основе следует всемерно сокращать за счет более широкого применения сварки чугуна чугуном.

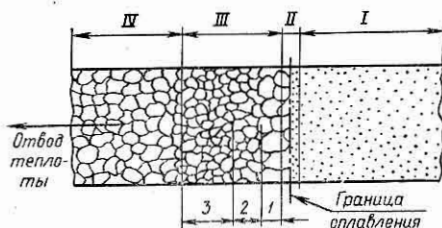


Рис. 23. Схема сварного соединения:

I — наплавленный металл; II — зона сплавления (область взаимной кристаллизации); III — зона термического влияния;

1 — участок нагрева (950—1100°С); 2 — участок нагрева до температуры 750—950°С; 3 — участок нагрева до температуры 700—750°С (переход к неизменной структуре основного металла); IV — основной металл

Трудности, связанные с появлением повышенной твердости, трещин и ослаблением основного металла в зоне термического влияния, возникают в результате тепловых явлений сварочного процесса. Эти трудности должны преодолеваются технологическими мероприятиями при выполнении сварки.

При холодной сварке чугуна образуется разнородное сварное соединение, для которого характерно наличие обособленных зон (рис. 23): зоны наплавленного металла; зоны сплавления, имеющей склонность подкаливаться, и зоны термического влияния, характеризующейся в определенной части понижением механической прочности. В условиях холодной сварки чугуна образование этих зон создает основные трудности, обусловленные природными свойствами чугуна.

Зона наплавленного металла. При сварке основной металл (чугун) расплавляется на некоторую глубину. Расплавленный основной металл перемешивается в сварочной ванне с металлом электрода. Если при этом металл электрода способен образовывать соединения с углеродом (стальные, чугунные, медно-стальные электроды), то под действием диффузии наплавленный металл науглероживается за счет углерода расплавленного чугуна. При последующем быстром затвердевании наплавленный металл приобретает повышенную твердость и склонность к трещинообразованию.

Электроды, в состав которых входят металлы, не образующие соединений с углеродом (медь, никель), обеспечивают в наплавке хорошую обрабатываемость и удовлетворительные прочностные свойства.

Зона сплавления. Зона сплавления представляет собой тонкий слой, прилегающий к границе наплавленного металла. В этом слое при свойственных холодной сварке высоких скоростях охлаждения (свыше $30^{\circ}\text{C}/\text{с}$) углерод расплавленного чугуна не успевает выделиться в виде графита и застывает в связанном состоянии, образуя твердую прослойку.

Зона термического влияния. Основной металл в процессе сварки испытывает тепловое воздействие, связанное с отдачей теплоты сварочной ванны в массу изделия. Возникающие при этом явления с практической точки зрения можно разделить на две группы: изменение структуры основного металла вблизи зоны сплавления; возникновение местных внутренних напряжений, вызывающих образование трещин в теле отливки.

Изменение структуры в основном металле, прилегающем к шву, приводит к понижению прочности основного металла в околошовной зоне. Исследование микроструктуры металла в зоне термического влияния при сварке различными электродами, позволило установить наиболее важные факторы, влияющие на структуру зоны термического влияния: структуру и химический состав металла свариваемого изделия, скорость нагрева и охлаждения околошовной зоны.

Скорость нагрева и охлаждения околошовной зоны при холодной сварке чугуна зависит от толщины завариваемой стенки отливки, режимов сварки (силы сварочного тока, скорости сварки, диаметра электрода и др.), а также от размеров завариваемого дефекта и техники ведения процесса.

При достаточной прочности наплавленного металла наиболее слабым местом сварного соединения является не зона сплавления, а околошовная зона в основном металле. Испытания сварных образцов показывают, что снижение прочности серого чугуна в околошовной зоне достигает примерно 15—20% по сравнению с прочностью основного металла вне зоны термического влияния.

Образование трещин. Трещины при сварке чугуна — один из наиболее распространенных и трудноустраняемых дефектов. Для уменьшения опасности их появления при холодной сварке чугуна приходится применять пониженные токовые режимы, сваривать короткими участками с остыванием предыдущего валика перед наложением последующего, применять проковку валиков и другие меры.

В наплавках значительной длины (примерно 250 мм) не удается избежать образования трещин, если в шве или в зоне сплавления появляется цементит (ледебурит). Однако отсутствие отбела в зоне сплавления еще не означает, что появление трещин удастся предотвратить.

Трещины, образующиеся при сварке чугуна, учитывая температуру их появления и характер разрушения, а также склонность чугуна к образованию закалочных структур в околошовной зоне, можно отнести к холодным трещинам.

Разрушение серого чугуна, поскольку у него практически отсутствует запас пластичности, происходит в местах наибольшего включения графита.

Трещины при сварке чугуна образуются, в отличие от холодных трещин при сварке закаливающихся сталей, не при постоянной температуре, а чаще всего в процессе охлаждения, когда внутренние напряжения вследствие усадки шва непрерывно возрастают.

Напряжения не могут релаксироваться ввиду ничтожной пластичности серого чугуна, и если напряжения превышают определенную величину, в этом месте происходит зарождение трещины. После этого напряжения распределяются еще более неблагоприятно, снова происходят локальные разрушения, которые, наконец, перерастают в явную трещину.

Металлографический анализ показывает, что для образования трещин наличие закалочных структур (цементита, мартенсита) в околошовной зоне не обязательно. В то же время возникновение трещин значительно облегчается, если в околошовной зоне имеется мартенсит, который увеличивает напряжения второго рода. Таким образом, за образование трещин ответственны напряжения первого рода, возникающие вследствие торможения усадки металла шва и околошовной зоны. Напряжения второго рода, появляющиеся в результате фазовых превращений, играют второстепенную роль.

Для предупреждения образования трещин в основном металле при сварке чугуна нельзя допускать не только образования закалочных структур в околошовной зоне, но и того, чтобы напряжения первого рода достигали величины, при которой могут зародиться очаги разрушения.

Величина напряжений первого рода зависит от режима сварки, жесткости изделия, величины свободной линейной усадки металла и других факторов. При одинаковой жесткости изделия и режима сварки величина напряжений первого рода в наибольшей степени будет определяться величиной свободной линейной усадки, поэтому при холодной сварке чугуна особое значение наряду с применяемым электродным материалом приобретает техника ведения процесса заварки дефекта.

При холодной сварке чугуна большую опасность представляют местные перегревы, резко увеличивающие напряжения первого рода. Способ заплавления дефектов зависит от их характера. Сквозные дефекты (трещины, спаи и т. д.) заваривают одним или несколькими узкими и длинными валиками. Несквозные дефекты (раковины, ужимы, перекося, сколы и др.) заплавляют многими валиками в один или несколько слоев.

При непрерывном процессе сварки нарастание температуры в месте наплавки резко увеличивается, так как теплоотвод в массу изделия замедляется. Создается значительный местный перегрев, внутренние напряжения увеличиваются и могут вызвать образование трещин в теле отливки.

Скорость нарастания температуры в большой мере зависит от толщины завариваемой стенки. В тонкостенных отливках отвод теплоты в массу изделия слишком замедлен. Быстрое нарастание температуры в месте сварки приводит к тому, что в основном металле под наплавленным слоем и по его краям образуются сквозные трещины. Поэтому в обычных условиях возможность сварки тонкостенных изделий из чугуна очень затруднена даже при незначительном количестве наплавленного металла.

С увеличением толщины стенки, при прочих равных условиях, температура местного нагрева снижается. При толщине стенок свыше 20 мм трещины возникают только в случае наплавки на большой площади без перерывов для охлаждения металла.

Таким образом, основные факторы образования местных перегревов: продолжительность наплавки и толщина завариваемых стенок. Для предотвращения образования трещин площадь наплавки за один проход (до перерыва на охлаждение) устанавливают в зависимости от толщины завариваемой стенки:

Толщина стенки, мм	6	8	10	12	15	20
Допустимая площадь наплавки, см ² (до перерыва на охлаждение)	5—8	10—12	15—20	20—25	25—30	30—35

Наплавку возобновляют по мере снижения температуры до 60—80° С, которую можно определить прикосновением руки к отливке.

При сварке электродами на медно-никелевой основе к наплавленному металлу предъявляются условия главным образом хорошей обрабатываемости и плотности. Широкое распространение получили электроды на медно-никелевой основе, например марки МНЧ-2. Они предназначены для холодной сварки и наплавки чугуна при исправлении несквозных дефектов небольших и средних размеров на обрабатываемых или обработанных поверхностях отливок и деталей (рис. 24), могут быть также использованы при восстановлении чугунных деталей бывших в эксплуатации. Промышленный выпуск электродов МНЧ-2 организован на Опытном сварочном заводе.

Наплавленный металл твердостью *HV* 140—160 легко поддается обработке резанием. В зоне сплавления образуется узкая полоска повышенной твердости. Однако это не снижает показателей обрабатываемости сварного соединения. На чистоту обработанной поверхности оказывает влияние толщина снимаемого слоя резцом. Чистая и ровная поверхность получается при тол-

щине снимаемой стружки менее 4 мм. При более толстой стружке могут образоваться неровности и задиры. Это объясняется различием вязкости наплавленного (медно-никелевого слоя) и основного металла (чугуна). Для улучшения условий обрабатываемости необходимо предварительно снять усиление наплавленного металла заподлицо с основным. Сварное соединение обладает высокими прочностными показателями.

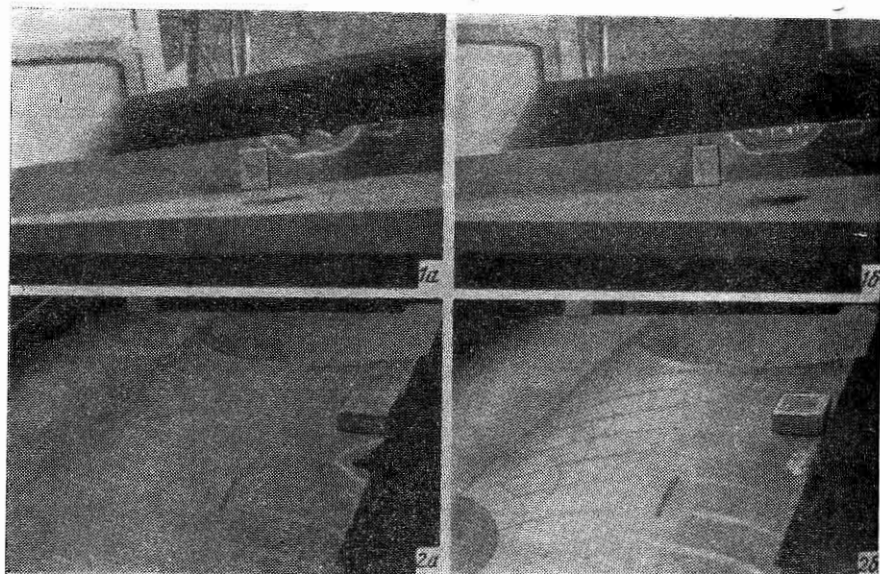


Рис. 24. Стливки, дефекты в которых исправлены электродами на медноникелевой основе:

a — до заварки; *б* — после заварки;
1 — направляющая станины; *2* — плоскость разъема

Наплавку однослойную или многослойную осуществляют укладкой валиков. Медь и никель, не образующие соединений с углеродом, обеспечивают хорошую обрабатываемость сплава и в сочетании с покрытием электрода специального состава — необходимую плотность в слоях металла и технологичность процесса наплавки. Зажигание дуги легкое (с одного прикосновения), горение дуги стабильное, почти без разбрызгивания, шлаки легкие — подвижные, отделяемость шлаков хорошая. Манипулирование электродом не затруднено. Шов имеет форму, близкую к полусфере без образования подрезов. Наплавленный металл плотный, проплавление основного металла минимальное.

Рациональная область использования (условно) определяется дефектами с максимальной глубиной после разделки 15—20 мм и площадью (по наплавленному металлу) до 30 см² — без наполнителя и до 50 см² — с наполнителем.

Применение электродов МНЧ-2 различных диаметров: диаметром 3 мм, если требуется обеспечить минимальный прогрев основного металла и минимальные размеры зоны сплавления, что необходимо при заварке дефектов небольших размеров на механически обработанных поверхностях деталей, а также укладке первого слоя при многослойной наплавке; диаметром 4—5 мм — для заварки дефектов небольших и средних размеров, для первых (изолирующих) слоев при многослойной наплавке с применением в качестве наполнителя стальных или специальных электродов; диаметром 6 мм — при заварке дефектов средних и крупных размеров, когда первые слои выполнены медно-стальными или стальными электродами, а электродами МНЧ-2 наполняется верхняя часть наплавки под обработку.

В практической работе находит применение наплавка полужидкой ванной электродами с тонким покрытием. Для этого используют проволоку или литые прутки на медно-никелевой основе диаметром 6—8 мм. Наплавку ведут на повышенных токовых режимах с подформовкой или без подформовки дефекта по контуру. Использование электродов МНЧ-2 для работы на повышенных токовых режимах с образованием полужидкой ванны или без нее не рекомендуется, так как качественные показатели наплавленного металла и сварного соединения в целом будут ухудшаться.

Подготовку дефектов выполняют в зависимости от характера дефекта и наличия подручных средств вырубкой, сверлением, фрезерованием до чистого основного металла. Ужимины, раковины, имеющие отлогие края, разделяют с приданием стенкам более крутого скоса (рис. 25, 1). Краевые дефекты (раковины, сколы) разделяют с приданием стенкам более крутого скоса (рис. 25, 2).

Источниками электропитания служат преобразователи постоянного тока или выпрямители (+ на электроде).

Выбор величины тока для медно-никелевых электродов определяется диаметром электрода:

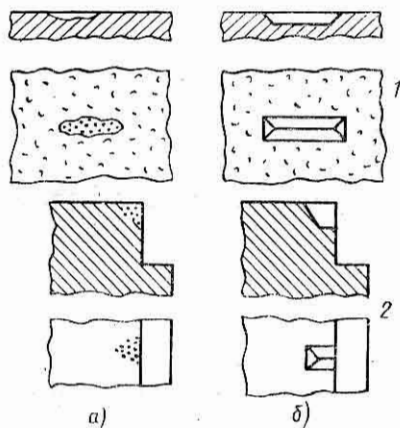


Рис. 25. Подготовка под сварку: а — до разделки; б — после разделки: 1 — ужимин и раковин; 2 — краевых дефектов

Диаметр электрода, мм	3	4	5	6
Сила тока, А	70—90	100—130	130—150	160—180

При наплавке электродами МНЧ-2 на подслои, выполненный электродами ОЗЧ-2, силу тока увеличивают на 10%, что соответствует верхнему пределу для указанных диаметров электродов. Для повышения устойчивости дуги целесообразно вести процесс на повышенном напряжении холостого хода, что достигается настройкой источника тока на ступень, превышающую рабочий ток; рабочий ток подбирают балластным реостатом. Заварку дефектов электродами на медно-никелевой основе выполняют наплавкой в один или несколько слоев, при этом необходимо соблюдать определенную последовательность операций.

Весь объем разделки заплавливают электродами МНЧ-2 отдельными параллельными валиками. Каждый валик очищают от шлака, зачищают металлической щеткой и проковывают. При укладке последующего валика предыдущий перекрывают на 1/3 ширины. Наплавленный металл должен возвышаться над отметкой обработки на 3—4 мм.

При заварке дефекта многослойной наплавкой с медно-стальным подслоем нижнюю часть объема разделки заплавливают электродами ОЗЧ-2 (медно-стальными). Каждый наплавленный валик очищают от шлака, зачищают металлической щеткой и проковывают с целью снижения напряжений в слоях наплавки. Наплавка начинается с укладки валиков через центр разделки с последующим заплавлением левой и правой частей разделки. Верхний слой, в пределах припуска на обработку, наплавливают электродами МНЧ-2, очищают от шлака, зачищают металлической щеткой и проковывают. Граница сплавления медно-стального и медно-никелевого слоев должна находиться ниже припуска на обработку.

При заварке дефектов многослойной наплавкой с медно-никелевым подслоем нижнюю часть разделки наплавливают электродами МНЧ-2 (медно-никелевыми) в один слой. Очищают поверхность наплавки от шлака, затем проковывают шов. Последующие слои наплавливают стальными электродами. Во избежание отслаивания наплавленного металла наплавку следует вести участками площадью не более 30 см². Наплавленные слои проковывают. В процессе наплавки необходимо следить затем, чтобы наплавленный слой стальными электродами не выходил за пределы изолирующего медно-никелевого слоя (табл. 32).

Сварка электродами на медно-стальной основе рекомендуется для исправления сквозных дефектов в чугунных отливках и деталях в виде трещин, спаев, разбитых частей, отверстий, несплошности металла, создающих течь, и т. п., нарушающих прочностные показатели чугунных изделий. Если сварное соединение должно обладать только высокими показателями прочности, а обрабатываемость, разнородность наплавленного металла и различие цвета относительно чугуна не имеют существенного значения, находит применение холодная дуговая сварка чугуна медно-стальными электродами, например марки ОЗЧ-2.

Т а б л и ц а 32. Возможные дефекты при заварке медно-никелевыми электродами

Дефекты	Причины возникновения
Пористость наплавки	Некачественное покрытие. Применена беглая наплавка при увеличенной силе тока. Не применена проковка электродов после длительного хранения.
Чернота в слоях	Наплавка произведена на поверхности, не очищенную от коррозии и загрязнений
Трещины в сварном соединении	Недостаточная очистка очередных валиков от шлака, некачественная разделка поверхности дефекта. Наплавленный слой недостаточно поднят над поверхностью стенки отливки
Подкалка переходной зоны	Недостаточная проковка. Наплавка выполнена чрезмерно уширенными валиками. Перегрев металла при сварке
	Чрезмерно увеличена сила тока

Промышленный выпуск электродов ОЗЧ-2 осуществляет Лосиноостровский электродный завод.

Электроды на медно-стальной основе предназначены для ручной холодной дуговой заварки трещин, спаев, мест течи, сварки

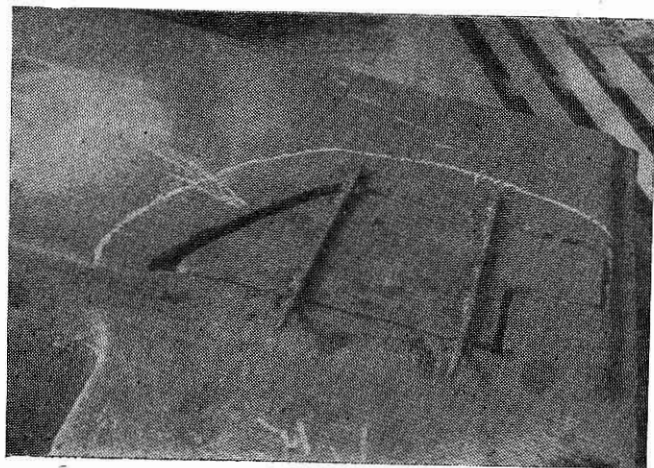


Рис. 26. Отливка, подготовленная для сварки медно-стальными электродами с заплатой на боковой поверхности

и приварки разбитых частей, вварки вставок и других сквозных дефектов в чугунных отливках и деталях преимущественно на необрабатываемых поверхностях (рис. 26).

Наплавленный металл — медно-стальной сплав (80% меди, 20% стали), представляющий собой механическую смесь меди

(основа) и стальных включений. Стальная составляющая наблюдается в виде мелких включений, расположенных по всему сечению, а также крупных полей в районе зоны сплавления с основным металлом. Прочностные показатели сварного соединения на 10—15% ниже, чем у основного металла (ослабление происходит в зоне термического влияния). Наплавленный металл имеет характерный красный оттенок. В зоне сплавления имеются прерывистые отбеленные участки, создающие определенные трудности при механической обработке.

Сварку выполняют валиками в один или несколько проходов. При плавлении медно-стального электрода, медь, не образуя соединений с углеродом, обуславливает вязкость и пластические свойства шва; сталь претерпевает науглероживание. В смеси со стальной составляющей медная основа приобретает высокие прочностные показатели, сохраняя при этом вязкие и пластические свойства. Благодаря этому металл шва может пластически деформироваться под воздействием сварочных напряжений и противостоять образованию трещин. Для получения медно-стального сплава на медную проволоку наносят слой специального покрытия, в состав которого введен железный порошок.

Электрод обеспечивает плотность в слоях наплавленного металла и технологичность процесса сварки. Зажигание дуги — легкое, горение стабильное, почти без разбрызгивания, шлаки легкие, подвижные, отделяемость шлаков хорошая. Манипулирование электродом при сварке не затруднено, сварочный валик имеет форму, близкую к полусфере без образования подрезов.

Рациональная область использования определяется сквозными дефектами (трещины, спаи, разбитые части, несплошности, создающие течь, сквозные отверстия) различной протяженности, когда от сварного соединения требуется высокая прочность и плотность и менее строго — обрабатываемость и цвет.

Электроды ОЗЧ-2 различных диаметров рекомендуется применять преимущественно диаметром 3 мм — при заварке тонкостенных отливок и деталей, мест течи по жеребейкам, для первых проходов при многослойном заполнении разделанных канавок; диаметром 4—5 мм — для наложения вторых и последующих слоев при двух-трехслойном заполнении канавок; диаметром 5—6 мм — для вторых и последующих слоев при заварке дефектов всех видов толстостенных отливок и деталей.

В практической работе иногда находят применение, как вынужденная мера, медно-стальные электроды кустарного изготовления. Для этих целей используют медную проволоку с оплеткой из жести, медные трубки со вставленной внутрь стальной проволокой, сдваивают или страивают медные стержни со стальными электродами и др. Применяют меловую обмазку. Качество наплавленного металла при этом не имеет стабильных результатов. Применение электродов кустарного изготовления должно все-

мерно сокращаться за счет более широкого внедрения электродов промышленного изготовления.

Подготовку дефектов под заварку выполняют в зависимости от характера, размеров и расположения сквозного дефекта — вырубкой, воздушно-дуговой резкой, фрезерованием, изготовлением вставок и др.

Трещины, спаи, разбитые части разделяют снятием кромок; V-образную канавку разделяют для односторонней сварки, если для разделки и сварки доступна одна сторона стенки; другую сторону, неудобную для разделки и сварки, по возможности разделяют после заполнения канавки выплавлением дугой корня шва на глубину, достаточную для заплавления в один проход; X-образную канавку разделяют для двусторонней сварки, если для разделки и сварки доступны обе стороны стенки. В отдельных случаях для усиления сварного соединения в толстостенных деталях на кромках канавок устанавливают ввертыши. В толстостенных отливках целесообразна разделка трещин с образованием сквозного паза.

Сквозные отверстия, отсутствующие части. Дефектным местам придается форма наиболее удобная для вварки вставки. По контуру подготовленного места изготавливают вставку (чугунную или стальную). Кромки сопрягающихся стенок и вставки разделяются для образования канавок. Несплошности металла, создающие течь, разделяют вырубкой пневмозубилом (рис. 27).

Источниками электропитания служат преобразователи постоянного тока или выпрямители («+» на электроде). Выбор величины тока определяется диаметром электрода.

Диаметр электрода, мм	3	4	5	6
Сила тока, А	90—110	120—150	160—180	190—220

При укладке первого слоя на чугун следует пользоваться нижним пределом тока. При наплавке второго и последующих слоев на ранее наплавленный медно-стальной слой необходимо увеличить силу тока на 10%, что соответствует верхнему пределу для указанных диаметров электродов. Заварку дефектов медно-стальными электродами выполняют в один или несколько слоев при соблюдении определенной последовательности операций.

Разделку кромок заполняют валиками в один или несколько проходов. Каждый валик очищают от шлака и обязательно проковывают. Для очистки и проковки наплавленного металла рекомендуется применять пневмомолоток с набором зубил, специально заточенных под различный профиль. Подготовленный дефект заправляют участками, соизмеренными с общей протяженностью разделки и жесткостью контура. Первый валик следует укладывать в корень разделки электродом диаметром 3 мм при небольшой силе сварочного тока (~90 А). Оставшийся объем разделки за-

полняют последующими валиками с применением электродов диаметром 4—6 мм.

Заварку швов с V-образной подготовкой кромок при небольшой толщине стенки следует проводить в один-два прохода (рис. 28, а); при большой толщине стенки в несколько проходов (рис. 28, б). Во всех случаях, когда противоположная сторона стенки доступна для сварки, необходимо подваривать корень шва, для чего воздушно-дуговой резкой следует выплавить канавку вдоль корня шва глубиной, достаточной для заплавления в один проход. Удобно также пользоваться для выплавления корня шва электродами ОЗР-1. При отсутствии воздушно-дуговой

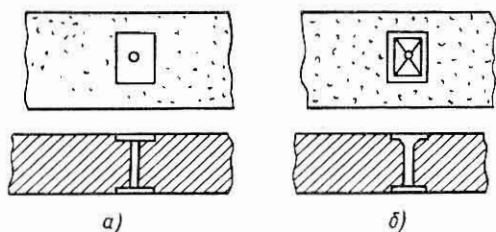


Рис. 27. Подготовка под заварку места течи по жребейке:

а — до разделки; б — после разделки

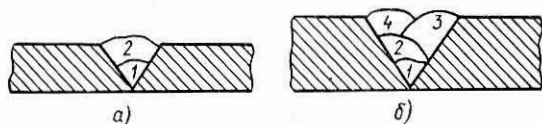


Рис. 28. Схема заварки трещин с V-образной подготовкой кромок

резки или специальных электродов можно выплавить корень шва обычными сварочными электродами, повысив силу рабочего тока на 30—40%. В этом случае необходимо деталь установить так, чтобы придать шву вертикальное положение.

При заварке канавок с X-образной подготовкой кромок необходимо учитывать жесткость контура. Если требуется избежать поводки привариваемой части, канавки заправляют укладкой валиков поочередно с одной и другой сторон разделки. При жестком закреплении свариваемых частей практикуется поочередное полное заплавление разделки.

Заварку трещин большой протяженности следует выполнять участками длиной не более 100—150 мм. Каждый участок ограничивают прихваткой (рис. 29). Сварку начинают с места выхода трещины на край стенки. Заправляют половину объема канавки первого участка, затем последовательно — второго, третьего и т. д. Каждый валик очищают от шлака, наплавленный металл проковывают. Окончательное заполнение канавки рекомендуется удлиненными проходами, уширенными валиками. Наплавленный металл необходимо проковать.

При сварке вставок и приварке частей заполнение канавки следует начинать с укладки валика по центру разделенных кромок. Зазоры значительных размеров, образующиеся в результате неточности подготовки кромок, необходимо заплавлять укладкой валиков в нижней части кромок. В отдельных случаях при заплавлении зазоров больших размеров могут быть применены подкладки (медные, графитовые). Заполнение канавки рекомендуется вести участками протяженностью 100—150 мм. Первоначально заплавляют половину объема канавки по всему периметру вставки.

Каждый валик очищают от шлака и проковывают. Окончательно канавку заполняют в следующем порядке: полностью завари-

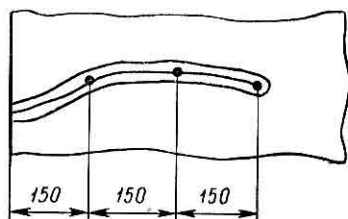


Рис. 29. Схема заварки трещин большой протяженности

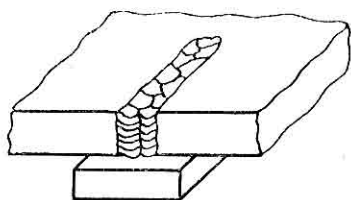


Рис. 30. Схема заполнения сквозного паза

вают одну сторону вставки (преимущественно сторону большей протяженности), поочередно укладывая валики, заплавляют остальную часть. Каждый валик очищают от шлака и проковывают. Если обратная сторона вставки доступна для сварки, то выполняют подварку корня шва путем укладки усиленного валика.

Заварку шва с свертышами на кромках выполняют обычным порядком, принятым для сварных швов с X-образной и V-образной подготовкой кромок. При сварке необходимо следить за тщательной обваркой свертышей по контуру.

Заварку сквозного паза выполняют уширенными вертикальными валиками. Нижнюю часть паза ограничивают огнеупорным кирпичом для удерживания металла в нижней части валика (рис. 30). Валики очищают от шлака и проковывают (табл. 33).

Сварка электродами на железоникелевой основе применяется при восстановлении отливок и ремонтной сварке чугуна в случаях необходимости обеспечения хорошей обрабатываемости сварного шва обычным режущим инструментом с сохранением высокой прочности соединения. Оптимальный вариант в подобной ситуации — применение горячей сварки чугуна чугуном. Но по различным причинам механического и организационного порядка это не всегда возможно. Тогда целесообразна холодная сварка электродами на железоникелевой основе, например ОЗЖН-1. Данный электрод обеспечивает сварное соединение с высокими

прочностными свойствами. Наплавленный металл представляет собой железоникелевый сплав с пределом прочности 42—50 кгс/мм². Отбел чугуна в околошовной зоне практически отсутствует.

Т а б л и ц а 33. Возможные дефекты при сварке медно-стальными электродами

Дефекты	Причины возникновения
Пористость наплавленного металла	Некачественное покрытие электродов. Повышенная скорость наплавки при увеличенной силе сварочного тока
Чернота в слоях наплавленного металла и зоне сплавления	Некачественная подготовка поверхности дефекта. Недостаточная очистка валиков от шлака
Трещины в наплавленном металле	Превышение допустимых величин сварочного тока. Применение электродов с повышенным содержанием железа. Недостаточная проковка валиков
Трещины в околошовной зоне	Местный перегрев, особенно при заварке тонких стенок

Электроды на железоникелевой основе обеспечивают хорошую обрабатываемость при высоких показателях плотности и прочности, т. е. они в значительной мере объединяют свойства электродов на медно-никелевой и медно-стальной основе. Отсюда и их основное назначение: заварка дефектов небольших размеров на обработанных поверхностях, а также трещин и сколов. Весьма перспективно применение железоникелевых электродов в комбинации с медно-никелевыми, медно-стальными и стальными электродами.

Заварку дефектов электродами на железоникелевой основе, в зависимости от размеров и расположения дефектов можно выполнять в один или несколько слоев. Подготовку несквозных дефектов под сварку выполняют так же, как и для медно-никелевых электродов, сквозных дефектов — аналогично для медно-стальных электродов.

В качестве источника питания рекомендуются сварочные преобразователи или выпрямители для ручной дуговой сварки. Полярность — обратная. Величину тока выбирают в зависимости от диаметра электрода:

Диаметр электрода,				
мм	3	4	5	6
Сила тока, А . . .	70—100	100—130	140—160	170—200

Техника заполнения разделки определяется характером исправляемого дефекта: для несквозных дефектов последовательность операций и техника их выполнения такие же, как и при сварке медно-никелевыми электродами, для сквозных — как и

при сварке медно-стальными электродами. Хорошие результаты также обеспечивают электроды на чисто никелевой основе. Но они дороже, поэтому их применение ограничено.

Отличительная особенность сварки чугуна стальными электродами с карбидообразующими элементами в покрытии — связывание углерода, поступающего в шов из основного металла, в труднорастворимые мелкодисперсные карбиды титаном или ванадием, содержащимися в электродном покрытии. Карбиды титана и ванадия столь прочны, что углерод, находящийся в них, не участвует в фазовых превращениях. Если карбидообразующие элементы содержатся в шве в избытке по отношению к углероду, структура шва получается ферритной с включениями мелкодисперсных карбидов. Обрабатываемость наплавленного слоя удовлетворительная. Наиболее характерны электроды с титаном в покрытии — электроды СЧС-ТЗ, с ванадием — ЦЧ-4.

Для связывания углерода предпочтительнее использование ванадия, так как титан энергично соединяется с кислородом и азотом и шов сильно загрязняется неметаллическими включениями. Поэтому большее распространение получили электроды ЦЧ-4, имеющие в покрытии феррованадий. Эти электроды можно применять для заварки несквозных дефектов на обработанных поверхностях отливок частично взамен электродов на медно-никелевой и никелевой основе. Наплавленный металл поддается механической обработке резанием, хотя практически очень трудно избежать зоны повышенной твердости на границе сплавления. При твердости основного металла *HВ* 180—220 и наплавленного *HВ* 207—220 зона сплавления имеет твердость *HВ* 320—350.

В зависимости от размеров дефектов и глубины после разделки применяют электроды: диаметром 3 мм — для заварки дефектов небольших размеров при однослойной или многослойной наплавке; диаметром 3—4 мм — для выполнения облицовочных переходных слоев при заварке дефектов средних размеров; диаметром 4—5 мм — для выполнения наполнительных слоев при заварке дефектов средних размеров; диаметром 5—6 мм — для выполнения облицовочных переходных и наполнительных слоев при заварке дефектов крупных размеров; диаметром 3—6 мм — для заварки вмятин и выравнивания поверхности деталей после механической обработки.

Разделку дефектов под заварку следует выполнять так же, как и для электродов на медно-никелевой основе. Наплавку выполняют на постоянном токе обратной полярности («+» на электроде) или переменном токе с подключением осциллятором (табл. 34)

Технологический процесс заварки необходимо выполнять, как и при других способах сварки, в определенной последовательности и с соблюдением требуемой техники сварки.

Дефекты заправляют с учетом припусков на обработку. Наплавленный металл должен возвышаться над поверхностью де-

тали на 3—4 мм. Начинать заварку следует с укладки валиков через центр разделанного дефекта с последующим заплавлением участков. Каждый валик обязательно выводить на поверхность наплавленного металла и тщательно заваривать кратер. Наплавка — непрерывная. Каждый валик тщательно очищают от шлака и проковывают легкими ударами затупленного пневматического зубила. Дефекты крупных размеров, заплавливаемые более чем тремя наплавочными слоями, предварительно подогревают до температуры 150—250° С при помощи индукторов или газовых горелок.

Т а б л и ц а 34. Сила тока при сварке электродами ЦЧ-4, А

Слой	Диаметр электрода, мм			
	3	4	5	6
Облицовочный	60—75	90—110	120—140	150—160
Наполнительные	—	110—120	140—160	160—180

Наплавка облицовочного переходного слоя — однослойная на всю поверхность дефекта с укладкой параллельных валиков вдоль разделки. Не допускается на поверхности дефекта незаполненных облицовочным слоем мест. Каждый валик тщательно очищают от шлака. Наплавленный облицовочный слой обязательно проковывают.

Второй и последующие наполнительные слои до заполнения объема дефекта наплавливают по слою чугушной стружки. Измельченную чугушную стружку следует насыпать слоем толщиной 2—3 мм. Валики наполнительных слоев укладывают вдоль валиков облицовочного переходного слоя.

При наплавке слоя отжигающих валиков (наполнительного слоя) нельзя допускать выхода дуги на основной металл за облицовочный слой. Заканчивать наплавку необходимо наложением последних отжигающих валиков по краю облицовочного слоя. Наплавленный металл обязательно заточить наждачным кругом и тщательно осмотреть поверхность наплавки после заточки (табл. 35).

Область применения стальных электродов (проволоки) ограничена в основном заваркой несквозных дефектов на необрабатываемых поверхностях чугунных отливок. В наплавленном металле и переходной зоне образуется сетка мелких трещин, что значительно ослабляет сварное соединение. Поэтому сварка стальными электродами без специального покрытия допустима в тех случаях, когда не требуется механическая обработка, не оговорена проч-

ность сварного соединения. Наплавленный металл при сварке чугуна стальными низкоуглеродистыми электродами обогащается углеродом, кремнием, марганцем и другими элементами расплавленного основного металла и представляет собой обычно высокоуглеродистую сталь с содержанием 0,7—0,9% С. Вследствие быстрого охлаждения, свойственного холодной сварке, наплавленный металл закаливается и, имея ограниченные пластические свойства, недостаточные для восприятия возникающих напряжений, растрескивается.

Т а б л и ц а 35. Возможные дефекты при сварке электродами с карбидообразующим покрытием

Дефекты	Причины возникновения
Повышенная твердость в наплавке	Не выдержан режим заварки. Отжигающие валики вышли на основной металл
Поры в наплавленном металле	Недостаточно очищен шлак при наплавке наполнительного слоя
Трещины в слоях наплавленного металла	Превышение допустимого объема наплавки. Недостаточная проковка. Отсутствие местного подогрева
Отслаивание (отрыв) наплавленного металла	Превышение допустимой толщины слоя наплавки. Отсутствие местного подогрева. Не использована чугунная стружка при наплавке последующих слоев

Твердость наплавленного металла при однослойной наплавке высока, вследствие чего возможность обработки резцом исключается. Заваренное место обычно затачивают наждачным кругом.

При многослойной наплавке содержание углерода по поперечному сечению наплавленного металла колеблется в весьма широких пределах. Например, при наплавке на чугун, содержащий 3,13% С, стальным электродом, содержащим 0,17% С, в переходной зоне оказалось 2,84% С, на поверхности первого слоя 0,62% С, второго слоя — 0,40% С, третьего слоя 0,21% С. В четвертом и последующих слоях наплавки сохраняются свойства электродного металла, т. е. мягкой низкоуглеродистой стали. Эти слои не растрескиваются и легко обрабатываются резцом. Поэтому иногда применяют многослойную наплавку стальными электродами на обрабатываемых поверхностях, поверхность дефекта облицовывают слоем наплавленным медно-никелевыми электродами, тем самым ликвидируется зона сплавления чугуна со сталью.

Дефекты под заварку разделяют пневматическим зубилом или воздушно-дуговой резкой до чистого металла. Подготовлен-

ная под сварку поверхность не должна иметь шлаковых включений. Выбор силы тока определяется диаметром применяемого стального электрода:

Диаметр электрода,

мм	3	4	5	6
Сила тока, А	110—120	140—160	180—200	220—240

Оптимальная толщина одного слоя наплавки 4—5 мм. При заплывании дефектов больших размеров сварку следует вести вразброс в каждом слое. Такой прием позволяет избежать местного перегрева, создающего большие внутренние напряжения, приводящие к отрыву наплавленного металла от основного. Для предотвращения отслаивания также следует делать перерывы во времени

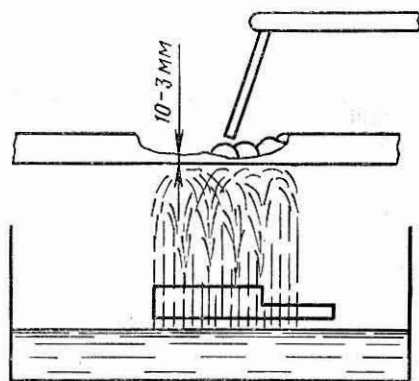


Рис. 31. Отвод теплоты путем охлаждения водой

между наплавкой отдельных участков с целью охлаждения металла до температуры 60—80° С.

При заварке раковин и ужилин, которые, углубляясь в тело отливки, уменьшают сечение стенки до 3—10 мм, а также при наплавке на тонкостенное литье (толщиной менее 10 мм) и при вварке вставок в сильной степени проявляется склонность к закалке и растрескиванию, что создает дополнительные трудности в практической работе. Получить положительные результаты в подобной ситуации помогает сварка с интенсивным отводом теплоты [16]. Отвод теплоты осуществляется путем контакта завариваемой плоскости с водой, подводимой со стороны, противоположной заварке (рис. 31).

Вследствие интенсивного отвода теплоты, ускоренной кристаллизации сварочной ванны и быстрого охлаждения наплавленного металла углерод не успевает диффундировать из основного металла в наплавленный и концентрируется преимущественно в зоне сплавления, которая отбеливается. Верхние слои сварного шва сохраняют химический состав и свойства электродного металла, т. е. низкоуглеродистой стали, и не подвержены растрескиванию. Распространение теплоты в тело отливки крайне ограничено, поэтому не создаются местные перегревы в основном металле, не возникают напряжения большой величины и отсутствуют трещины.

Сварка с интенсивным отводом теплоты обеспечивает наплавленный и основной металл, не подверженные растрескиванию; наплавленный металл с достаточной плотностью и повышенной вязкостью; практическую возможность заварки тонкостенных из-

делий из чугуна; возможность заварки до конца непрерывно без опасения появления трещин в основном металле.

При толщине стенок более 20 мм эффект, получаемый от интенсивного отвода теплоты, снижается, так как в верхних слоях металла удерживается часть теплоты, способствующая насыщению сварного шва углеродом. Наплавленный металл подвержен растрескиванию, в основном же металле трещины не возникают (табл. 36).

Т а б л и ц а 36. Возможные дефекты при сварке с отводом теплоты

Дефекты	Причины возникновения
Трещины в основном и наплавленном металле	Несоблюдение интервалов для охлаждения. Отсутствие искусственного отвода теплоты
Отслаивание (отрывы) наплавленного металла от основного	Наплавка на большой площади выполнена невразброс. Недостаточная разделка дефекта (заварка на незачищенной поверхности)
Чернота в слоях наплавленного металла, выявляемая после заточки наждачным кругом	Недостаточная очистка валиков от шлака

Холодная дуговая или с небольшим подогревом сварка чугунами и стальными электродами с графитизирующими покрытиями применяется при исправлении дефектов на механически обрабатываемых или обработанных поверхностях, не работающих в условиях трения и износа, доводку которых выполняют шлифованием (без шабрения).

Заварка дефектов чугунами электродами без предварительного подогрева отливок широкого практического применения не имеет по причине непостоянства качественных показателей наплавленного металла и переходной зоны, а также склонности к образованию трещин в наплавленном и основном металлах.

При холодной сварке чугуна чугунами электродами сварщик не всегда может имеющимися у него средствами регулировать скорость застывания ванны и поэтому, как правило, процесс наплавки протекает в условиях быстрого охлаждения наплавленного металла, что может приводить к образованию трещин.

Для снижения твердости наплавленного металла и переходной зоны сварщик должен максимально прогреть основной металл электрической дугой, поддерживая ванну в жидком состоянии длительное время. Применение этого способа целесообразно и допускается только в таких местах отливок, где концентрированный местный нагрев электродугой не приводит к образованию

трещин в зоне наплавки, заварка сопровождается свободной усадкой наплавленного металла, например, при приварке отбитых выступающих частей, заварки угловых дефектов, наплавке зубьев шестерен и т. п.

Для этих целей можно использовать чугунные электроды на базе чугунных прутков с покрытием, приведенным в табл. 14. Сварку выполняют на переменном и постоянном токе только в нижнем положении. Горение дуги весьма устойчиво, что позволяет сварщику спокойно манипулировать электродом. Электроды в процессе плавления дают незначительное количество шлака, ими можно сваривать валиками, а также ванным способом. Дугу следует перемещать медленно и спокойно, избегая быстрых колебаний, и в особенности мгновенных «забегов» на основной металл, стремясь поддерживать дугу только над расплавленным металлом. Место заварки следует подформовывать графитовыми пластинами или огнеупорной глиной специального состава, применяемой при горячей сварке чугуна.

Есть основания опасаться возникновения больших внутренних напряжений в детали при исправлении дефектов, когда затруднена свободная усадка наплавленного металла, при этом требуется предварительный подогрев детали до температуры 300—400° С.

Попытки расширить область холодной сварки чугуна чугуном привели к созданию электродов из медно-никелевого чугуна, содержащего 2,5% С; 2,2% Si; 0,6—0,8 % Mn; 20—22% Ni; 5% Cu; не более 0,06% S; до 0,2% P. Для обеспечения высоких стабилизирующих свойств на электрод наносят покрытие из 70% зеленого карборунда и 30% углекислого бария. Сварку можно вести на постоянном и переменном токе. Сварочный ток выбирают из расчета 45—50 А на каждый миллиметр диаметра электрода.

Для получения обрабатываемого по всему сечению наплавленного слоя расплавленный участок должен как можно больше подвергаться действию дуги. По окончании наплавки и достижении темно-красного цвета наплавленный металл подвергают проковке. При наплавке следует следить за тем, чтобы основной металл не подвергался чрезмерному перегреву во избежание образования трещин в теле отливки. При заварке раковин площадью свыше 12 см² данными электродами появляется опасность возникновения трещин. При соблюдении указанных технологических приемов металл, наплавленный электродами из медно-никелевого чугуна, обладает низкой твердостью, достаточной плотностью и хорошей обрабатываемостью.

Если раковина после разделки имеет площадь, превышающую 12 см² и небольшую глубину, то такие раковины заправляют параллельными валиками длиной не более 50 мм. Каждый валик следует зачистить от шлака и проковать. Начало каждого валика должно быть расположено на поверхности раковины, а конец — на поверхности наложенного ранее валика с тем, чтобы не образо-

вывались поджоги обработанной поверхности. Поверхность наплавленного металла должна возвышаться над основным металлом на 3—4 мм.

Раковины площадью до 6—7 см² на плоскостях, не работающих в условиях трения, могут быть также заварены стальными электродами ЦЧ-5. Electroды представляют собой низкоуглеродистые стержни, на которые нанесена обмазка, содержащая графитизирующие элементы; в наплавленном металле получается синтетический чугун. В качестве примера стальных электродов с графитизирующим покрытием можно привести электрод со стержнем из проволоки Св-08 с покрытием, содержащим 35% графита серебристого; 25% ферросилиция; 19% мрамора; 20% плавикового шпата; 1% алюминиевого порошка.

Дефекты перед сваркой разделяют сверлом диаметром 15—25 мм. Сверло затачивают на двойной конус. Разделенная раковина не должна иметь большого углубления. Дно подготовленного под сварку дефекта должно иметь форму, удобную для хорошего провара. Заплавление раковины начинают с наиболее глубокого места дефекта и ведут кругообразными движениями электрода. По окончании наплавки металл очищают от шлака и проковывают. Затем производят контрольную обработку наплавленного металла наждачным кругом. Если при этом дефектов не обнаружено, деталь направляют в окончательную обработку шлифованием.

При заплвлении раковин площадью более 7 см² сварку стальными электродами с графитизирующим покрытием следует выполнять с предварительным подогревом до температуры 400—500° С в целях избежания образования трещин.

Известен также способ холодной сварки по слою гранулированной шихты специального состава. Его применение обеспечивает в наплавленном металле чугун с повышенным содержанием графитизаторов по сравнению с обычным чугуном, что уменьшает склонность шва к отбеливанию. Однако способ сварки по слою шихты почти не находит применения, так как имеет ряд существенных недостатков: сложная техника сварки, трудность получения стабильных результатов и т. д.

В последние годы ряд авторов предпринимали попытки создать порошковые проволоки для полуавтоматической сварки чугуна без подогрева. Отличительная особенность этих проволок — введение в шихту повышенного количества графитизаторов. Этот путь оказался более реальным, чем применение сварки чугунами электродами по слою гранулированной шихты. Удастся получить более стабильные результаты по химическому составу наплавленного металла. Однако весьма трудно избежать образования отбела и трещин. Наиболее удачными следует считать порошковые проволоки ППЧ-1 и ППЧ-2, применяемые для заварки дефектов на отливках из серого чугуна с толщиной стенки в месте дефекта 15 мм и более.

Назначение проволок следующее: ППЧ-1 — для заварки без предварительного подогрева небольших дефектов (раковин, пор, сыпи, недоливов и т. п.); ППЧ-2 — для заварки с предварительным подогревом до температуры 300—350° С дефектов на толстых стенках отливок, а также без предварительного подогрева в случаях, если при заварке обеспечивается достаточный разогрев значительной массы основного металла и имеется возможность свободной усадки наплавленного металла.

Наплавку выполняют на постоянном токе прямой полярности при скорости подачи проволоки 172 м/ч, силе тока 340—380 А, напряжении дуги 33—35 В и скорости сварки не более 5 м/ч.

Глава VIII

Сварка специальных чугунов

В последнее время в мировой практике расширяется применение чугунов со специальными свойствами: высокопрочного, ковкого, аустенитно-никелевого, высокохромистого и др. Отсюда необходимость рассмотрения вопросов их сварки. Так как химический состав, структура и свойства специальных чугунов резко отличаются, то особенности их сварки необходимо рассмотреть раздельно.

Особенности свариваемости высокопрочного чугуна в значительной мере определяются кинетикой его кристаллизации, зависящей не только от скорости охлаждения, состояния жидкого металла и его химического состава, но и от процесса модифицирования. В качестве модификатора при получении чугуна с шаровидным графитом наиболее часто применяют магний. В последнее время наметилась тенденция использования редкоземельных элементов. Магниевого чугуны при одинаковых условиях обладают несколько лучшей жидкотекучестью, чем серые чугуны. Благодаря этому создаются хорошие предпосылки для получения плотного без пор и шлаковых включений наплавленного металла. Однако значительная склонность магниевого чугуна к образованию усадочных раковин и рыхлот создает дополнительные трудности при его сварке.

Термический цикл, которому подвергается высокопрочный чугун в процессе сварки плавлением, создает условия для ухудшения механических свойств металла в зоне термического влияния. Это происходит из-за наличия структурно-свободного углерода, который при высоких температурах стремится раствориться в аустенитной матрице. Вследствие быстрой диффузии углерода от шаровидных включений графита в аустенитную матрицу понижается температура плавления матрицы и происходит ее расплавление в зонах вокруг шаровидных включений. В условиях быстрого охлаждения сварного шва эта фаза, обогащенная углеро-

дом, затвердевает с образованием ледебурита, т. е. цементитной эвтектики. Присутствие в структуре зоны термического влияния игл первичного цементита, ледебурита и мартенсита значительно охрупчивает металл околошовной зоны и облегчает появление трещин.

Температура, скорости нагрева и охлаждения отдельных участков зоны термического влияния при сварке не одинаковы, поэтому структурные превращения в каждом участке этой зоны и конечная структура их различны. Связав качественные изменения в металле зоны термического влияния высокопрочного чугуна при сварке плавлением с диаграммой железо—углерод, можно выделить три основных участка.

1. Участок неполного расплавления — сравнительно небольшой протяженности, нагревается до температуры 1150—1250° С и в процессе сварки находится в твердо-жидком состоянии. В момент сосуществования твердой и жидкой фаз на границе оплавления наблюдается явление гетерофазной диффузии, что увеличивает неоднородность состава в основном по углероду, сере и фосфору. В участках, окружающих шаровидные включения графита, образуется жидкая фаза, которая при медленном охлаждении затвердевает в виде тонкой оболочки феррита, при ускоренном охлаждении — цементита и ледебурита. В конечном итоге структура в этой зоне может быть: шаровидный графит, феррит, цементит + ледебурит, мартенсит и перлит.

2. Участок аустенита — участок, где температура не достигала эвтектической, но была выше эвтектоидной. На этом участке структура представляет собой продукты распада аустенита различной дисперсности (троостит, сорбит или перлит). При медленном охлаждении рассматриваемого участка из аустенита выделяется избыточный углерод в виде графита, при быстром — в виде цементита.

3. Участок, температура которого не превышала 723° С, имеет структуру основного металла. При более точном подходе в нем можно выделить отдельные узкие зоны (участок перекристаллизации, участок графитизации и сфероидизации карбидов и участок исходной структуры), однако это не имеет практического значения.

Таким образом, образующаяся при сварке высокопрочного чугуна зона пониженной пластичности значительно усложняет процесс сварки. При сварке высокопрочного чугуна получить сварные соединения, по прочности и пластичности близкие к основному металлу, значительно труднее, чем при сварке серого чугуна, тем более, что магний, вводимый в чугун, увеличивает его склонность к образованию структур отбела.

Дефекты, подлежащие исправлению, выявляются как до механической обработки, так и на различных ее стадиях. Дефекты располагаются на поверхностях обрабатываемых, работающих на износ, неподвижных соединений, а также необрабатываемых.

Равнопрочное сварное соединение на чугунах с шаровидным графитом можно получить лишь в случае однородности по структуре и свойствам основного металла и металла шва, поэтому основными способами исправления дефектов на обрабатываемых рабочих поверхностях можно считать способы, обеспечивающие в наплавленном металле чугун с шаровидным графитом: механизированная дуговая сварка порошковой проволокой специального состава; полуавтоматическая сварка проволокой (сплошной и порошковой) с присадкой керамического стержня; дуговая и газовая заварка чугунными электродами и прутками специального состава.

При исправлении дефектов на поверхностях неподвижных соединений не всегда требуется получение наплавленного металла в виде чугуна с шаровидным графитом, а достаточным считается хорошая обрабатываемость. В этих случаях можно применять ручную и механизированную сварку (с предварительным подогревом отливки) с использованием сварочных материалов, применяемых для серого чугуна, а также газопорошковую наплавку, низкотемпературную пайко-сварку чугунными прутками и сплавом ЛОМНА.

В качестве способов сварки, не требующих предварительного подогрева, обеспечивающих возможность механической обработки сварного соединения может быть применена ручная и полуавтоматическая дуговая сварка электродами (проволоками) на медно-никелевой, медно-стальной, железоникелевой и никелевой основах, а также стальными электродами с карбидообразующим покрытием. Однако их применение должно строго регламентироваться, исходя из требований к завариваемой поверхности и конструкции в целом, так как при этом в наплавленном металле получаются различные сплавы, а не чугун. Для исправления дефектов на необрабатываемых поверхностях применяют стальные электроды.

Отливки, предназначенные для гидравлического оборудования, исправляют с учетом их эксплуатационных особенностей. При этом главенствуют способы сварки, обеспечивающие получение в наплавленном металле чугуна с шаровидным графитом.

Характерная черта всех способов сварки, обеспечивающих в наплавленном металле чугун с шаровидным графитом при равной прочности основному металлу, — применение общего предварительного подогрева, как правило, до температуры 500—650° С (при скорости подогрева не более 200° С/ч) и последующей термообработки. В отдельных случаях, когда усадка наплавленного металла облегчена, например при заварке отбитых частей, недоливов и т. п., а также при заварке дефектов малого объема (до 100—150 см³) на массивных деталях, используют местный подогрев.

Заваривать следует отливки, прошедшие термообработку (высокий графитизирующий отжиг). Процесс заварки необходимо

оканчивать при температуре отливки не ниже 500° С. Если объем дефекта и масса детали не гарантируют окончания заварки при указанной температуре, то применяют сопутствующий подогрев. Непосредственно после заварки дефектов отливки подвергают термообработке (отжигу) для разложения метастабильных фаз (цементита, ледебурита, мартенсита) и обеспечения обрабатываемости сварного соединения, а также для снятия внутренних напряжений.

Режим отжига: температура нагрева 750—820° С, выдержка из расчета 1 ч на каждые 30—40 мм толщины отливки, но не менее 2 ч. Охлаждение с печью до температуры 200—250° С. При заварке несложного дефекта в нежестком контуре замедленное охлаждение возможно на горне или переносными горелками без последующей термообработки или с низким отжигом при температуре 600° С для снятия сварочных напряжений.

Механизированную сварку порошковой проволокой марки ППАНЧ-5 [11] осуществляют валиками или полужидкой ванной. Ток — постоянный, полярность обратная («+» на электроде). Режим сварки устанавливают (для проволоки диаметром 3 мм) в зависимости от способа наплавки (табл. 37).

Т а б л и ц а 37. Режимы сварки порошковой проволокой ППАНЧ-5

Способ наплавки	Скорость подачи проволоки, м/ч	Вылет электрода, мм	Сила сварочного тока, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч
Валиками	112	20—25	370—390	32—34	Не более 5
Полужидкой ванной	159—210	40—60	400—540	38—42	—

При больших размерах дефектов заварку их следует выполнять отдельными участками. Больших перерывов между наплавкой отдельных участков делать не следует. Нельзя допускать и значительного перегрева наплавки, так как из-за угара модификатора теряется шаровидная форма графита. Во время сварки необходим сопутствующий подогрев с тем, чтобы температура детали поддерживалась на уровне 600° С.

Механизированную горячую сварку проволокой марки ППВЧ-1 выполняют преимущественно с образованием жидкой ванны большого объема. Ток — постоянный или выпрямленный, полярность обратная. Процесс заварки дефекта ванным способом протекает сравнительно быстро и теплоты сварочной ванны практически оказывается достаточно для поддержания заданной температуры в зоне сварки.

Шихта порошковой проволоки содержит стойкие модификаторы МР-1 и МР-2, изготовленные из иттрийсодержащего сырья. Эти модификаторы — комплексные, с высокой графитизирующей

активностью и стойким модифицирующим эффектом. Шаровидный графит сохраняется при многократном переплаве (рис. 32), поэтому при сварке порошковой проволокой ППВЧ-1 перегрев сварочной ванны не представляет большой опасности и ее размеры могут быть достаточно велики (до 200 см² по площади зеркала ванны).



Рис. 32. Структура наплавленного металла при сварке высокопрочного чугуна порошковой проволокой марки ППВЧ-1 ($\times 120$)

Ручную дуговую сварку электродами марки ЭВЧ-1 осуществляют преимущественно ванным способом. Ток — постоянный, полярность обратная. Силу сварочного тока устанавливают в зависимости от диаметра электрода:

Диаметр электрода, мм	8	12	14
Сила сварочного тока, А	400—600	800—1000	1100—1300

Технология заварки аналогична сварке проволокой ППВЧ-1, так как электроды ЭВЧ-1 изготовляют на базе литых чугунных прутков, модифицированных комплексными модификаторами МР-1, МР-2, СИИТМИШ-1 и СИИТМИШ-2.

Полуавтоматическую сварку с присадкой керамического стержня СКВЧ-1 осуществляют валиками или полужидкой ванной. Ток — постоянный, полярность обратная. Режим сварки устанавливают в зависимости от способа наплавки (табл. 38).

Т а б л и ц а 38. Режимы сварки с присадкой керамических стержней СКВЧ-1

Способ наплавки	Скорость подачи проволоки, м/ч	Вылет электрода, мм	Сила сварочного тока, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч
Валиками	112	25—30	370—390	34—38	Не более 6
Полужидкой ванной	159—210	25—30	400—540	34—38	—

При заплавлении дефектов больших объемов наплавку вести на ранее наплавленный металл, поддерживая полужидкое соединение прилегающих слоев наплавки. Нельзя допускать перегрева металла и образования жидкой ванны значительного объема, так как из-за перегрева может произойти утечка жидкого металла. Во время сварки необходим сопутствующий подогрев для поддержания температуры детали на уровне 600° С.

Газовую заварку с присадкой прутков марки ПЧС-2 осуществляют с образованием жидкой ванны. Для сварки могут быть применены горючие газы: ацетилен, пропан-бутан, природный газ. При любых сварочных газах можно применять флюс ФПСН-1. Техника сварки та же, что и для серого чугуна. Если не требуется полного совпадения по структуре и свойствам наплавленного металла с основным, можно применять холодные (без предварительного подогрева деталей) способы сварки, а также газопорошковую наплавку.

Легирование высокоуглеродистых сталей (1,0% С и более) ванадием (1—6%) сужает γ -область и приводит к снижению твердости при быстром охлаждении. В области высоких температур значительная часть углерода растворена в аустените. В процессе охлаждения он связывается в прочный карбид V_4C_3 , который в виде мелкодисперсных включений равномерно распределяется в ферритной матрице. Это свойство использовано при создании электродов ЦЧ-4, которые обеспечивают легирование стального шва до 7,5—9%. Electroды предназначены для конструкционной сварки изделий из высокопрочного чугуна и его сочетаний со сталью, а также для сварки поврежденных чугунных деталей и заварки дефектов литья.

Твердость наплавленного металла позволяет вести механическую обработку, однако в переходной зоне при сварке без подогрева неизбежно образование ледебурита и мартенсита, что повышает ее твердость до HV 500—600. Возникает опасность образования трещин. Предварительный подогрев изделий (до 300—400° С) позволяет снизить твердость переходной зоны до HV 350 и избежать трещин. По мере наплавки слоев содержание углерода в них резко снижается и такое количество ванадия уже не требуется. Поэтому электроды ЦЧ-4, как правило, используют лишь

для облицовки кромок разделки или поверхности дефекта, а остальное количество металла наплавляют электродами, предназначенными для углеродистых конструкционных сталей. Равнопрочность сварных соединений не достигается, поэтому часто для надежности сварку выполняют со стальными ввертышами.

Сварка тонкой проволокой в углекислом газе может быть использована для сварки высокопрочного чугуна, поскольку позволяет получить небольшой провар свариваемого металла. Применяя различные режимы и приемы сварки со взаимным перекрытием, с наложением отжигающих валиков и т. п., можно получить металл шва с различной структурой — от мартенситной до перлитно-ферритной.

Лучшие результаты обеспечиваются при сварке электродной проволокой марки Св-08Г2СА диаметром 1 мм на режиме: сила тока не более 100—120 А, напряжение 18—21 В, скорость сварки 10—12 м/ч. При таком режиме удается избежать трещин в слое стали, наплавленном на чугун.

Способ газозлектрической сварки позволяет сваривать детали из высокопрочного чугуна и комбинированные изделия из чугуна с шаровидным графитом со сталью в случаях, когда не требуется последующая механическая обработка сварных соединений.

Сварку под керамическим флюсом подобно описанному способу газозлектрической сварки можно применить для соединения чугунных деталей и чугуна со сталью. Автоматическую сварку низкоуглеродистой стальной проволокой под керамическим флюсом разработали Д. М. Кушнерев и В. Г. Свечинский. Для повышения пластичности наплавленного металла его легируют через флюс марганцем и хромом, благодаря чему добиваются аустенитной структуры с небольшим количеством феррита и включениями карбидов. Металл шва имеет твердость $HRC\ 25-30$. В зоне термического влияния имеются включения цементита и ледебурита на троосто-сорбитном поле. При сварке с колебаниями и специальной разделке можно достичь прочности сварного соединения, составляющей 80—90% прочности чугуна с шаровидным графитом.

Наплавку слоя стали ленточным электродом под флюсом можно применять для облицовки деталей из магниевого чугуна с целью создания комбинированной конструкции из чугуна и стали. Слой служит для увеличения поверхности сплавления чугуна и стали и тем самым обеспечивает необходимую прочность соединения стальных деталей, привариваемых к высокопрочному чугуну. Наплавку выполняют низкоуглеродистой лентой толщиной 0,8—1 мм под флюсом АН60. Наплавка в два слоя обеспечивает получение углеродистой стали с 0,3—0,5% С, легко сваривающейся, а также улучшающей структуру околошовной зоны. Комбинированные детали, изготовленные из чугуна и стали, имеют достаточно высокую прочность при статическом нагружении и в условиях вибрации.

Сварка сплавами никеля электродами с различным содержанием никеля (до 50—55%) известна и распространена во всех ведущих странах мира. Предварительный подогрев чугуна до температуры 300—350°С при сварке железоникелевыми электродами надежно устраняет возможность образования трещин по линии сплавления. Наплавленный металл имеет аустенитную структуру с выделениями междентритного графита. В зависимости от содержания никеля в наплавленном металле структура шва кроме аустенита может содержать и продукты ее распада, снижающие прочность и пластичность.

Механические свойства наплавленного металла близки к свойствам основного металла (высокопрочного чугуна): $\sigma_B = 40 \div 59$ кгс/мм², $\sigma_T = 30 \div 47$ кгс/мм², $\delta = 6 \div 13\%$, HV 180—200; однако сварные соединения, выполненные железоникелевыми электродами, в состоянии после сварки имеют общую прочность на 30—50% ниже прочности основного металла. Только с помощью длительной термообработки удастся улучшить механические свойства сварных соединений.

Кроме ручной сварки в ремонтном деле может также применяться никелевая самофлюсующая проволока (ПАНЧ-11) [1]. Использование проволоки малого диаметра (1—1,2 мм) на низких режимах ($I = 100 \div 140$ А, $U_d = 14—18$ В) способствует малому тепловложению в основной металл и очень неглубокому проплавлению. В зоне сплавления имеются включения цементита, но они носят прерывистый характер. Поэтому твердость сварного соединения составляет HV 160—180.

Газопорошковую наплавку можно применять для исправления небольших дефектов на окончательно обработанных поверхностях деталей, где не предъявляется высоких требований к прочности. Технология наплавки аналогична как и для серого чугуна.

При производстве сварно-литых изделий из высокопрочного чугуна может успешно применяться контактная стыковая сварка [9]. При правильно подобранных режимах сварки стык имеет лишь отдельные участки цементита и ледебуритной эвтектики, а околостыковая зона — небольшое количество мартенсита.

Барaban из чугуна ВЧ 45-5 сваривали на машине К-315 (табл. 39). Процесс оплавления начинали при повышенном вторичном напряжении, затем по мере разогрева торцов его понижали. В конечной стадии оплавления, когда его скорость растет наиболее интенсивно, вторичное напряжение вновь повышали до 11,2 В с тем, чтобы исключить короткое замыкание перед осадкой.

Сварочный ток составлял: в начальный период ($U_{2д} = 11,2$ В) 24 000 А; при пониженном напряжении ($U_{20} = 9,4$ В) 15 500 А; в конечный период ($U_{20} = 11,2$) 22 000—2700 А; при осадке под током около 50 000 А.

Предел прочности сварного соединения близок к прочности основного металла и составляет 40—45 кгс/мм². Ударная вязкость снижается значительно (0,6—1,5 кгс·м/см²) по сравнению с основ-

ным металлом в отожженном состоянии (2,7—3,9 кгс·м/см²), что объясняется охрупчиванием соединения в результате термического цикла сварки, приводящего к заметному повышению твердости в зоне стыка. Предварительный подогрев и последующая термообработка обеспечивают получение ферритно-перлитной структуры без включений цементита. В этом случае сварное соединение хорошо обрабатывается и изделие в целом пригодно для длительной эксплуатации в тяжелых условиях.

Таблица 39. Режимы стыковой сварки труб и барабанов ленточных конвейеров

Параметры режима	Трубы Ø 150×25 мм	Барабаны Ø 400×10 мм
Установочная длина, мм	110 + 110	110 + 110
Напряжение вторичной цепи, В:		
<i>U</i> ₂₀ высокое	11,2	11,2
<i>U</i> ₂₀ низкое	9,4	399,4
Величина оплавления, мм	42	42
Время оплавления, с	70	60
Средняя скорость оплавления, мм/с	0,6	0,7
Начальная скорость оплавления, мм/с	0,15	0,15
Конечная скорость оплавления, мм/с	2,0	2,0
Величина осадки, мм	4	6—7

Дефекты в отливках из ковкого чугуна можно исправлять в исходном его состоянии (в виде белого чугуна) до отжига и после отжига. В зависимости от метода отжига структура ковкого чугуна различна. При графитизирующем отжиге, когда отливки из белого чугуна отжигаются при температуре 850—1000° С в нейтральной среде, в закрытых коробках, шамоте или песке, происходит разложение первичного и вторичного цементита с последующим распадом аустенита и выделением углерода отжига. Металлическая основа имеет ферритную структуру. В этом случае ковкий чугун на поверхности имеет оторочку белого цвета и темный бархатистый излом. Темный цвет излому придает выделившийся углерод отжига. Ферритный ковкий чугун обладает умеренной прочностью, пластичностью, пониженной твердостью.

При окислительном отжиге, когда отливки из белого чугуна нагреваются в коробках, засыпанных рудой или окалиной, происходит обезуглероживание поверхности за счет кислорода руды или окалины, а сердцевина приобретает перлитную структуру. Такой ковкий (перлитный) чугун отличается уменьшенным содержанием углерода и неравномерным его распределением. В результате структура и твердость у этого чугуна непостоянны. Включения феррита и углерода отжига встречаются в малом количестве. Пластические свойства перлитного ковкого чугуна ниже ферритного, но износостойкость его значительно выше.

Ферритный ковкий чугун с большим количеством углерода отжига обладает более низкой свариваемостью, чем перлитный чугун с весьма ограниченным количеством углерода отжига. Сложность сварки ферритного ковкого чугуна в значительной степени объясняется наличием в нем компактных или глобулярных включений графита, равномерно распределенных по всему сечению отливки. При воздействии на чугун теплоты сварочной дуги эти включения графита растворяются в сварочной ванне и частично выгорают, образуя газ, который не успевает полностью удалиться и создает пористость в металле шва.

На заводах дефекты в отливках из ковкого чугуна в основном исправляют в исходном его состоянии в виде белого чугуна (до отжига). В этом случае заварку осуществляют присадочными чугунами материалами: газовую — чугунами прутками, ручную дуговую — электродами на основе чугунных прутков, механизированную — порошковой проволокой и т. д. Техника сварки та же, что и для высокопрочного чугуна, но предварительный подогрев детали достаточен до температуры 250—400° С. После заварки отливка подается на отжиг (томление).

Часть дефектов выявляется при механической обработке. Кроме того, значительное количество деталей выходит из строя в процессе эксплуатации. Возникает необходимость их ремонта. В этом случае применяют сварку без предварительного подогрева электродами на медно-никелевой, железоникелевой, медно-стальной и никелевой основе. На некоторых заводах применяется сварка в углекислом газе стальной проволокой малого диаметра. Сварочные материалы, обеспечивающие чугун в наплавке, можно использовать те же, что и для высокопрочного чугуна. Наличие модификаторов в них обеспечивает получение металла шва и зоны сплавления из чугуна, допускающего любую механическую обработку.

В сельском хозяйстве широко применяют сварку стальными электродами, но при этом наплавленный металл отличается пористостью, низкой пластичностью и повышенной твердостью. Обрабатывать такое соединение можно только абразивом.

Аустенитно-никелевые чугуны обладают неплохой свариваемостью. Однако к применяемым сварочным материалам предъявляются повышенные требования: они должны обеспечивать аустенитную структуру в наплавленном металле и переходной зоне, особенно на поверхностях, контактирующих с агрессивными средами. Наиболее простые, мобильные способы — газовая сварка чугунами прутками с содержанием 20—25% Ni и ручная дуговая сварка электродами на основе этих же чугунных прутков. Для исправления дефектов на нерабочих поверхностях и поверхностных неразъемных соединений можно применять электроды на никелевой, медно-никелевой, медно-стальной и железоникелевой основах (МНЧ-2, ОЗЖН-1, ОЗЧ-2, ОЗЧ-3 и др.).

Хромистые высоколегированные чугуны относятся к трудно-свариваемым чугунам. Их теплофизические и физико-механиче-

ские свойства таковы, что практически их сварка возможна только с общим подогревом до температуры 600—700° С присадочными материалами, обеспечивающими в наплавленном металле содержание 5—12% Сг и 2—4% Мо. На нерабочих поверхностях (не подверженных интенсивному абразивному износу) может применяться ручная дуговая сварка теми же электродами и по той же технологии, что и для серых чугунов.

Глава IX

Вспомогательные способы исправления дефектов

Процесс металлизации основан на расплавлении металлической присадки (проволока, порошок) и перенесении расплава на поверхность изделия струей сжатого воздуха. Существуют три основных вида металлизации.

При газопламенном процессе проволока расплавляется в ацетилено-кислородном пламени и распыляется струей сжатого воздуха. Скорость частиц металла в газовых металлизаторах достигает 180 м/с против 100 м/с при дуговом напылении, поэтому покрытие получается более плотное (9—9,5 г/см³).

При дуговом процессе дуга возбуждается между двумя проволоками и распыляется струей сжатого воздуха. Скорость частиц металла 100 м/с. Благодаря большему (чем при газотермическом распылении) перегреву частицы меньше загрязняются различными соединениями, что обеспечивает лучшую адгезию. Однако твердость покрытия меньше, чем при использовании газовых металлизаторов.

При плазменном напылении плавление и распыление материала покрытия происходит с помощью высокотемпературной дуговой плазменной струи. Последнюю получают при вдувании в электрическую дугу, возбуждаемую между двумя электродами, плазмообразующего газа. В качестве плазмообразующего газа используют аргон, гелий, азот и их смеси с водородом.

Распылительные головки плазменного типа позволяют получать газовую струю с температурой до 15 000° С и наносить покрытия из самых тугоплавких материалов.

Применительно к чугунным изделиям металлизация находит применение в трех направлениях: нанесение износостойкого слоя на рабочие поверхности трения; восстановление сплошности рабочей поверхности, имеющей пористость на участках большой протяженности; уплотнение негерметичных мест.

Нанесение износостойких покрытий напылением на направляющие станин металлорежущих станков применяется давно. Имеются сведения о применении различных способов металлизации для повышения износа направляющих базовых деталей метал-

лорежущих станков. При этом отчетливо различаются два основных направления исследований: напыление одним из известных способов толстого (1—2 мм и более) слоя износостойкого материала с последующим его шлифованием; нанесение тонкого износостойкого покрытия на окончательно обработанную поверхность детали с последующей притиркой гребешков напыленного слоя.

Имеются описания опыта металлизации чугунных направляющих новых токарных станков, а также станков, находившихся в эксплуатации. Во всех случаях покрытия наносили с помощью ацетилено-кислородного распылительного пистолета, специально сконструированного для этой цели. В качестве исходного износостойкого материала для покрытий использовали проволоку диаметром 2 мм из молибдена, стали и порошковых композиций. Износостойкость направляющих с такими покрытиями в 2—3 раза превышает износостойкость обычных чугунных направляющих.

Сущность процесса газотермического напыления состоит в том, что наносимый материал в виде проволоки подается в камеру сгорания металлизатора, где расплавляется ацетилено-кислородным пламенем и распыляется струей сжатого воздуха. Размер образуемых при этом частиц, их скорость и температура влияют на величину пористости, твердость, сцепление слоя с упрочняемой поверхностью и износостойкость.

Высокая температура плавления молибдена (2625° С) обеспечивает подплавление упрочняемой поверхности молибденовыми частицами и образует достаточно прочное соединение с ней, поэтому молибден часто используют в качестве промежуточного слоя. Молибден обладает высокими антизадириными и антифрикционными свойствами вследствие большого средства к кислороду и летучести окислов. Так, при трении обычных металлов происходит смятие микровыступов, обнажение ювенильных поверхностей, повышение температуры в локальных участках и схватывание микровыступов, которые затем подобно рецу срезают слой металла.

При трении же молибденовой поверхности повышение температуры от смятия микровыступов приводит к образованию его окислов, которые, испаряясь, играют роль смазки, что особенно важно при сухом трении, имеющем иногда место в работе станков. Молибден напыляли на направляющие станины станка. Перед напылением размеры направляющих занимали $n \approx 0,2$ мм. Напыленный слой (0,7 мм) доводили до заданных размеров шлифованием. В качестве устройства, обеспечивающего продольно-поперечное перемещение направляющих относительно металлизационного аппарата, использован действующий продольно-строгальный станок (рис. 33).

Участок оборудован вытяжной вентиляционной установкой, обеспечивающей нормальное протекание технологического процесса напыления.

К участку подведена воздушная магистраль с давлением сжатого воздуха в сети 6 ат. Снабжение участка горючими газами —

баллонное. Контроль, регулировку давления и расхода сжатого воздуха и рабочих газов осуществляли с помощью стандартных манометров и ротаметров типа РС.

Металлизацию иногда применяют для устранения дефектов, создающих течь в отливках, которые работают без давления или при давлении не более 4 ат. Такими дефектами могут быть местная пористость отливки, места спаев, неплотность сварного шва при заварке трещин и сквозных раковин. Металлизация допускается на необрабатываемых поверхностях, не подверженных местным динамическим нагрузкам и температурным воздействиям свыше 400° С.

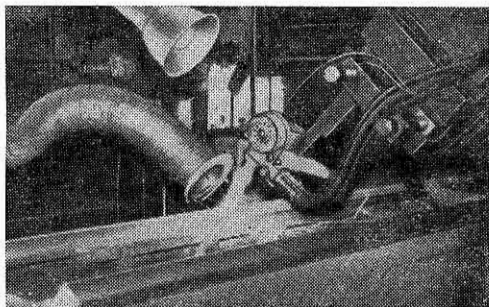


Рис. 33. Нанесение покрытия на поверхность направляющих методом металлизации.

Отливки, поступающие на металлизацию, должны быть полностью очищены, обрублены и заточены. Поверхность, подлежащая металлизации, должна быть совершенно ровной, без острых граней. Материалом для покрытия мест течи служит цинковая проволока диаметром 1—1,5 мм любой марки. Проволока должна быть тщательно выпрямлена и совершенно свободна от грязи, масла и окислов.

Способ заделки литейных дефектов различными мастиками-замазками заключается в заполнении дефектных мест массой специального состава, которая при затвердевании остается в них в виде уплотненного слоя. Замазки можно применять в неотвественных случаях; для заделки поверхностных дефектов таких, как несквозные раковины, ужимы и т. п. при глубине их не более $1/3$ толщины сечения стенки.

Заделывать дефекты отливок, работающих под нагрузкой, испытывающих давление в местах с ослабленной прочностью, подвергающихся механической обработке, категорически запрещается. Применением замазок преследуется цель только улучшения внешнего вида деталей.

В практике имеет распространение много рецептов замазок. Все они отличаются друг от друга своим составом, технологией

Изготовления, способом применения, сцепляемостью с металлом, химической и механической стойкостью. Целесообразно применять только такие замазки, которые имеют несложную технологию изготовления, обладают достаточной плотностью, хорошими адгезионными свойствами и схожи по цвету с металлом. Затвердевшая замазка при обстукивании ее молотком не должна отслаиваться от металла. Допускается местное выкрашивание при ударах по замазке острым инструментом. Растворимость замазки в эмульсии, керосине и маслах не допускается.

Удовлетворительные результаты дает замазка, изготовленная на основе эпоксидной смолы. К эпоксидной смоле ЭД-5 или ЭД-6 (100 частей) добавляют 12 частей полиэтиленполиамин (отвердителя) и 20 частей дибутилфтолата (пластификатора). Смесь тщательно перемешивают в течение 3—5 мин с добавлением в качестве наполнителя железного порошка или цемента № 500. После этого замазка готова к употреблению. Скорость затвердевания замазки зависит от температуры отливки. При температуре 10—12° С замазка затвердевает через 20—24 ч, при температуре 18—20° С — через 8—10 ч, при температуре 80° С — через 1 ч. Поверхность дефектного места должна быть сухой и чистой.

Приготовленную замазку наносят деревянной лопаткой или стальной гладилкой на исправляемое место отливки с заполнением всего объема дефекта, а первый слой втирают в поверхность раковины. Окончательно подравнивают после некоторого затвердевания наложенного слоя.

Различные методы пропитки химическими уплотнителями также применяют для устранения течи в отливках. Отливки и детали, работающие в условиях контакта с рабочими жидкостями (эмульсии, масла и др.), газами, паром, горячей водой, под давлением и т. п., испытывают наливанием воды или керосина. Изделия, работающие при избыточном давлении свыше 1 ат, подвергают гидроопрессовке. Уплотнение бакелитовым лаком хорошо зарекомендовало себя применительно даже к ответственным отливкам. Пропитку отливок осуществляют следующим путем. Если при опрессовке обнаруживается течь, то дефектные места в отливке подвергают предварительной заварке. Деталь, предназначенную для пропитки, просушивают при температуре 150—200° С и выдерживают при этой температуре 1—1,5 ч, пока из пор не испарится влага. После остывания отливки заглушают все окна и отверстия, кроме одного, через которое отливку наполняют бакелитом и опрессовывают.

Бакелитовый лак растворяют в спирте до плотности 0,96—1 (по ареометру) и вливают в отливку. Затем заглушают последнее отверстие и насосом производят опрессовку. Давление, создаваемое насосом, обычно не превышает 5—6 ат. Отливку выдерживают при этом давлении до тех пор, пока через поры начнет просачиваться бакелит. Обычно бакелитовый лак при указанном выше давлении начинает просачиваться через 20—30 мин. После опрес-

совки лак сливают и отливку в течение 1—1,5 ч подвергают воздушной просушке.

Для перевода бакелита в нерастворимую форму просохшие отливки подвергают термообработке по следующему режиму: повышение температуры до 80—100° С в течение 2 ч, затем в течение 1 ч температуру повышают до 160—180° С; при этой температуре отливки выдерживают 1,5—2 ч, затем медленно охлаждают до 50—60° С. Остывшие отливки подвергают контрольной гидроопрессовке. Этим способом могут уплотняться поры, неплотности сварного шва в любом месте отливок, работающие при наличии воды, масла, эмульсии, пара.

Суспензии для пропитки состоят из смеси металлических порошков, окислов, катализаторов окисления и минеральных наполнителей. Состав твердых наполнителей: 33% SiO₂; 17% FeO; 0,3% TiO₂; 17% Al₂O₃, 7% Si. Смесь суспензирована в водном растворе жидкого стекла. При соприкосновении жидкого стекла с воздухом смесь соединяется с двуокисью углерода и превращается в твердый гель или высыхает в порошок. Катализатор окисляет металлический порошок, окислы которого плотно заполняют поры и герметизируют отливку.

При составлении суспензий твердый наполнитель смешивают с разбавителем в пропорциях, обеспечивающих низкую вязкость. Перемешивая суспензию подогревают до температуры 60° С. Перемешивание, пропитка и промывка длятся примерно 70 мин. Пропитанные и промытые отливки остаются на воздухе в течение суток, а затем подвергаются испытанию на герметичность. Установка состоит из автоклава вакуумно-напорного типа и резервуаров для жидкостей.

Для уплотнения стыков чугунных труб, резьбовых соединений (например, присоединение штуцеров на резьбе к чугунным деталям) находят применение анаэробные материалы типа «Анатерм», обеспечивающие высокую прочность и плотность в зазорах соединений.

Пропитку хлорным железом применяют на предприятиях, имеющих массовый выпуск деталей небольших и средних масс. Уплотнительный раствор состава в частях: 70 — хлорного железа (порошка), 42 — натриевой селитры; 100 — железного сурика; 1000 — воды (нагретой до 60—80° С). Раствор взбалтывают и нагнетают в поры под давлением насосом. Образующиеся химические соединения, проникая в поры, затвердевают с увеличением в объеме. Детали после пропитки высушивают в течение суток.

Пропитке раствором нашатыря подвергают отливки, работающие под давлением, из расчета 3—5 кг порошка нашатыря на ведро воды. Процесс опрессовки: в отливке заглушают отверстия полости резервуара; через отверстие фланца заливают раствор нашатыря; отливку опрессовывают при давлении 3—4 ат; при таком давлении раствор просачивается через поры, омывает их стенки

и закупоривает поры продуктами коррозии и коллоидной пленкой, образующейся в неплотностях. После опрессовки отливку оставляют с раствором нашатыря без давления, пока через дефект не перестанет просачиваться раствор, после этого раствор сливают и деталь просушивают на воздухе. Через 8—10 ч отливку можно подвергнуть контрольной опрессовке.

Этим способом могут уплотняться неплотности сварного шва, выполненного медно-стальными электродами в любом месте отливки, работающей при воздействии воды, масла, эмульсии, пара. Толщина стенки отливки должна быть не менее 3 мм.

Механические способы заделки дефектов (вставками и пробками) находят применение, когда дефекты обнаружены на финишных операциях механической обработки и операцию исправления дефекта нужно выполнять не снимая детали со станка. При таком способе исправления отдельно расположенные раковины небольших размеров высверливают и в образовавшееся углубление запрессовывают ударами чугунную пробку, которая и остается в теле отливки. Если требуется, размеры отверстия расширяют, вытачивают втулку и запрессовывают в отверстие. Кучно расположенные раковины, образующие участок загрязненного металла, в отдельных случаях исправляют вставками. В этом случае участок загрязненного металла удаляют фрезерованием. По размерам образовавшегося углубления изготавливают вставку, которую запрессовывают в гнездо.

Во всех случаях конструктивно решают вопросы надежности механических заделок и их крепления.

Глава X

Организация производства, экономика и техника безопасности

Для высококачественного исправления дефектов в отливках и деталях предприятие должно иметь специализированный сварочный участок, располагающий необходимой площадью, сварочным оборудованием, нагревательными устройствами, сварочными материалами и специализированными кадрами сварщиков.

Основные показатели при организации и проектировании участков сварки (заварки): общее число отливок и деталей, поступающих на исправление и способы исправления дефектов; годовая норма выработки одним сварщиком; необходимое число сварщиков; производственные площади участков сварки; нагревательные устройства; число постов газовой сварки; число постов электро-сварки; установочные мощности электропитания; расход газов (кислорода, ацетилена, природного газа).

Размеры площадей, специфика нагревательных средств оборудования и оснастки сварочных участков определяются номенкла-

турой, категориями и массой поступления отливок и деталей на исправление.

Участок исправления дефектов мелких отливок (до 100 кг). Основной способ исправления дефектов мелких отливок: горячая газовая заварка чугунами присадочными материалами. На ряде предприятий применяют также конкурирующий способ — горячую механизированную дуговую сварку порошковой проволокой с присадкой керамического стержня. Так как отливки массой до 10 кг подвергаются круговой механической обработке, их исправляют только горячими методами сварки.

Поверхности отливок массой свыше 10 кг, не подвергающихся механической обработке, допускаются к исправлению декоратив-

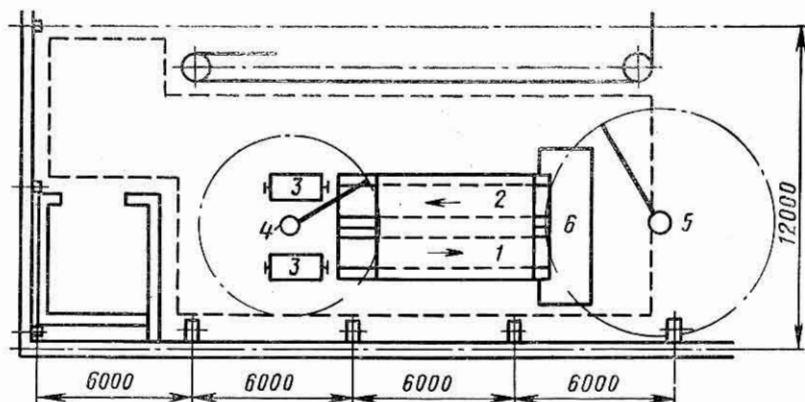


Рис. 34. Планировка типového участка заварки мелкого чугунного литья

ной холодной дуговой сваркой стальными электродами. В отдельную группу мелкого литья выделяют отливки, предназначенные для работы в гидравлическом оборудовании. Отливки этой группы исправляют только горячими способами сварки.

Исправление дефектов холодной сваркой электродами на медно-никелевой, железоникелевой и медной основе можно применять только в отдельных случаях, с ведома ОТК. Массовое применение способа категорически запрещено.

Отливки массой до 10 кг с дефектами, обнаруженными в процессе механической обработки, обычно окончательно бракуют, а дефекты, обнаруженные на отливках массой свыше 10 кг, подвергают исправлению непосредственно на заводе, обрабатывающем отливки. Методами исправления служат низкотемпературная пайко-сварка чугунной присадкой, медносплавными присадочными материалами, дуговая сварка электродами на медно-никелевой основе или горячие методы сварки.

На рис. 34 дана планировка типového участка заварки мелких чугунных отливок, оборудованного двухрядной конвейерной печью

с независимыми зонами нагрева отливок перед заваркой до температуры 650° С 1 и замедленного охлаждения после заварки до температуры 200° С 2, банками для транспортировки отливок 3, монорельсами 4, 5 и рабочим столом сварщика 6. При небольших количествах поступающих на заварку отливок участок может быть оборудован нагревательными горнами.

Участок исправления дефектов средних отливок (до 1000 кг). Дефекты на необрабатываемых поверхностях исправляют главным образом холодной сваркой с применением электродов, предназначенных для заварки дефектов различного характера (сквозные, несквозные и др.).

Учитывая особенности эксплуатации корпусных отливок в станках, машинах и другом оборудовании, сквозные дефекты в виде трещин, отлитых частей, отверстий в необходимых случаях исправляют горячими способами, что обеспечивает исправленным отливкам необходимый показатель надежности.

Дефекты на обрабатываемых поверхностях исправляют горячей сваркой (газовой или дуговой) чугунными сварочными материалами.

Сварка может быть выполнена с подогревом и без подогрева отливок электродами на медно-никелевой, железоникелевой основе и др., обеспечивающими обрабатываемость наплавленного металла.

Дефекты, обнаруженные в процессе механической обработки на финишных операциях, исправляют методами низкотемпературной пайко-сварки, газопорошковой наплавки. В отдельных случаях дефекты могут быть исправлены холодной сваркой электродами на медно-никелевой, никелевой или железной основах. Для выполнения работ по исправлению дефектов средних отливок на предприятиях должен быть организован специализированный участок.

Участок исправления дефектов крупных и тяжелых чугунных отливок (крупные отливки 1000—5000 кг тяжелые отливки св. 5000 кг). Основной вид дефектов: ужимины, раковины, неровности, перекосы и т. п., нарушающие товарный вид поверхности отливки. Имеют место дефекты в виде трещин различной протяженности, а также дефекты на обрабатываемых поверхностях. Дефекты декоративного значения, расположенные на необрабатываемых поверхностях, исправляют главным образом холодной сваркой стальными электродами или замазками. Дефекты сквозные (трещины, спаи, сквозные отверстия, отбитые части и т. п.) заваривают медно-стальными электродами, в отдельных случаях — горячей сваркой чугунными сварочными материалами.

Дефекты на обрабатываемых и ответственных необрабатываемых поверхностях исправляют горячей сваркой (газовой или дуговой) чугунными сварочными материалами. Технологическим процессом предусматривается предварительный нагрев отливок (частично или полностью). В отдельных случаях заварку можно

выполнять без подогрева отливок электродами на медно-никелевой, железоникелевой основе и др., обеспечивающими обрабатываемость наплавленного металла.

Дефекты, обнаруженные в процессе механической обработки на различных ее стадиях, исправляют на стадии черновой обработки (обдирки) горячими или холодными методами по аналогии с заваркой обрабатываемых поверхностей отливок до механической обработки; на финишных операциях обработки — методами низкотемпературной пайко-сварки, газопорошковой наплавки, а также в отдельных случаях холодной дуговой сваркой электродами на

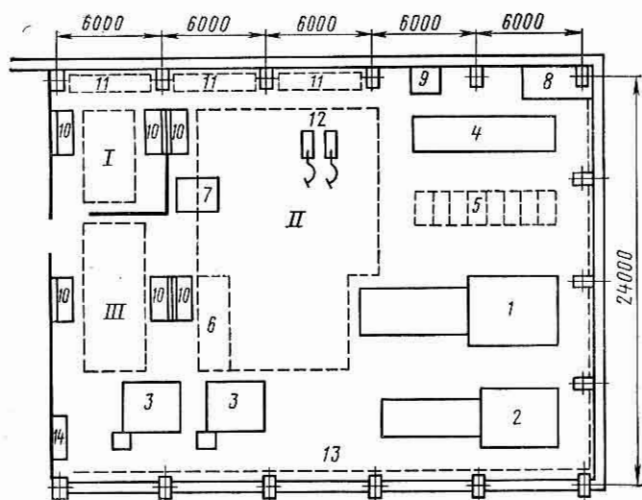


Рис. 35. Планировка участка заварки среднего, крупного и тяжелого литья

медно-никелевой, никелевой или стальной основе (табл. 40 и 41, 42).

Для выполнения работ по исправлению дефектов крупных и тяжелых отливок на предприятиях должен быть организован специализированный участок. На участке, показанном на рис. 35, размещены две термические печи с размером пода $2,1 \times 4,3 = 9,0 \text{ м}^2$ (1) и с размером пода $1,5 \times 3,48 = 5,2 \text{ м}^2$ (2). Поды — выкатные для нагрева отливок перед заваркой и при необходимости для последующей термообработки после заварки.

Для местного подогрева отливок установлены два газовых нагревательных горна 3 с размерами пода $3,0 \times 2,7 = 8,1 \text{ м}^2$. Для подогрева крупногабаритных тяжелых отливок предусмотрена ямная двухкамерная печь 4 с площадкой для промежуточного складирования съемных секций свода 5. Для горячей дуговой сварки предусмотрена площадка II, для холодной дуговой сварки — площадка I и для горячей газовой сварки —

Т а б л и ц а 40. Количественные характеристики участков исправления крупных и тяжелых чугунных отливок

Показатель	Годовой выпуск, тыс. т		
	5	15	30
Общее количество отливок, поступающих на заварку, — 60%:	3,0	9,0	18,0
горячая газовая заварка чугунной присадкой с использованием в качестве горючего газа ацетилена или его заменителей (природный газ, пропан-бутан и др.) или горячая дуговая механизированная заварка порошковой проволокой с присадкой керамического стержня — 10%	0,3	0,9	1,8
горячая дуговая механизированная заварка порошковой проволокой или горячая ручная дуговая заварка чугунными электродами — 30%	0,9	2,7	5,4
холодная дуговая заварка (декоративная заварка различными электродами) — 100%	3,0	9,0	18,0
Годовая норма выработки одним сварщиком, тыс. т/год:			
горячая газовая заварка чугунной присадкой с использованием в качестве горючего газа ацетилена или его заменителей (природный газ, пропан-бутан и др.) или горячая дуговая механизированная заварка стальной проволокой с присадкой керамического стержня	2,0	2,0	2,0
горячая дуговая механизированная заварка порошковой проволокой или горячая ручная дуговая заварка чугунными электродами	0,85	0,85	0,85
холодная дуговая заварка (декоративная заварка различными электродами)	3,0	3,0	3,0
Требуемое число сварщиков (всего)	3	7	12,0
Из них заняты:			
горячей газовой заваркой чугунной присадкой с использованием в качестве горючего газа ацетилена или его заменителей (природный газ, пропан-бутан и др.) или горячей дуговой механизированной заваркой стальной проволокой с присадкой керамического стержня	2	1	2
горячей дуговой механизированной заваркой порошковой проволокой и горячей ручной дуговой заваркой чугунными электродами	—	3	5
холодной дуговой заваркой	1	3	5

Показатель	Годовой выпуск, тыс. т		
	5	15	30
Производственные площади, м ² :			
всего	300	580	800
из них занято заваркой:			
горячей	250	500	700
холодной	50	80	100
Нагревательные устройства, шт:			
ямные печи с секционными крыш-			
ками	1	1	1
термические печи с выкатным по-			
дом	—	1	2
горны	1	2	3
переносные горелки	2	4	6
Число постов для газовой заварки	1	2	3
Электросварочное оборудование, шт:			
выпрямитель ВСС-500	2	4	7
выпрямитель ВДМ-1601	1	2	4
трансформатор ТСД-2000 (для воз-			
душно-дуговой разделки дефектов)	—	1	2
полуавтомат А-765 без источника			
питания	1	2	3
трехпроводочный полуавтомат			
А-1072С	1	1	2
Установочная мощность источников			
сварочного тока, кВА	377,5	576,0	1112,5
Расход газов ($\frac{\text{макс.}}{\text{средн.}}$), мм ³ /ч:			
для нагревательных устройств	280	560	840
(природный газ)	168	336	504
для заварки:			
ацетилен	2,8	5,6	8,4
	1,7	3,4	5,1
	3,9	7,8	11,7
природный газ	2,4	4,8	7,2
Расход кислорода при использовании			
в качестве горючего газа, мм ³ /ч:			
ацетилена	3,1	6,2	9,3
	1,9	3,8	5,7
	5,8	11,6	17,4
природного газа	3,6	7,2	10,8

Примечания: 1. Площади взяты с расчетом размещения на них нагревательных устройств с зоной обслуживания, сварочного оборудования и оснастки, площадок для заварки, разделки дефектов под заварку, промежуточного складирования отливок до и после заварки, средств механизации, вентиляционных устройств и др.

2. В численном составе людей учтены только рабочие, занятые непосредственно на сварочных операциях, без учета ИТР и вспомогательной рабочей силы.

Т а б л и ц а 41. Производительность нагревательного и сварочного оборудования при заварке чугунных отливок при сменной работе (ориентировочно)

Оборудование	Производительность по количеству завариваемых отливок, т/год	
	горячая заварка	холодная заварка
Мелкие отливки		
Печи проходные двухкамерные газовые	3040	—
Горны 2,1×2,1 газовые	1820	—
Пост газовой заварки	760	—
Полуавтомат ПС-2 (или А-537) с источником питания (для сварки керамическим стержнем)	910	—
Выпрямитель ВСС-300 или преобразователь ПСО-300	—	1080
Средние отливки		
Термические печи с выкатным подом (размер пода 1,5 × 3,48 = 5,2 м ²)	1500	—
Газовые горны 3,0×2,7 м ²	4000	—
Пост газовой заварки (для заварки мелких и средних дефектов)	1800	—
Полуавтомат А-1072С или полуавтомат А-765—3 шт. с источником питания ВДМ-1601 (для заварки крупных дефектов)	1400	—
Выпрямитель ВСС-500	—	5000
Крупные и тяжелые отливки		
Газовые печи ямного типа с разъемным секционным сводом	2400	—
Термические печи с выкатным подом (размер пода 2,1 × 4,3 = 9 м ²)	1000	—
Газовые горны 3,0×2,7 м ²	900	—
Пост газовой заварки (для заварки мелких и средних дефектов)	600	—
Полуавтомат А-1072С или полуавтомат А-765—3 шт. с источником питания ВДМ-1601 (для заварки крупных дефектов)	1800	—
Выпрямитель ВДМ-1601 (для сварки чугунными электродами)	900	—
Выпрямитель ВСС-500	—	2570
Воздушно-дуговая резка (для разделки дефектов под заварку)		
Трансформатор ТСД-2000 (ТДР-1601)	4050	—

Т а б л и ц а 42. Норма расхода сварочных материалов

Материал	Марка электрода	Фактический расход на 1 т годных отливок, кг
Электроды стальные (на проволоке Св-08)	АН-1	0,15
Электроды специальные (на проволоке Св-08)	ЦЧ-4 ЦЧ-5	0,0075 0,002
Электроды медно-никелевые (на проволоке МНЖМц28-2,5-1,5)	МНЧ-2	0,037
Электроды железоникелевые (на проволоке Св-08Н50)	ОЗЖН-1	0,020
Электроды медно-стальные (на проволоке МТ)	ОЗЧ-2	0,045
Чугунные литые прутки	Типа ПЧ	0,062
Электроды чугунные Ø 12—16 мм на чугунных прутках	Типа ЭЧ	0,15
Порошковая проволока	ППЧ-3М; ППАНЧ-2; ППАНЧ-5	0,275
Керамические стержни	СКЧ-3; СКВЧ-1	0,006
Прутки медносплавные	ЛОМНА	0,0006
Порошковый самофлюсующий сплав	Типа НПЧ	0,005
Флюс для газовой заварки чугуна	ФСЧ-1 и др.	0,011

Т а б л и ц а 43. Мероприятия по технике безопасности

Источники опасности	Меры безопасности
Запыленность и загазованность воздуха	Сварочный участок в дополнение к общецеховым оборудовать специальными устройствами: а) для заварки крупногабаритных отливок наклонными панелями равномерного всасывания; скорость движения воздуха в живом сечении отсосов должна быть не менее 8 м/с; отливку располагать не дальше 1—1,2 м от вертикальной стенки отсоса; б) при заварке крупногабаритных отливок возможно применение местного отсоса на поворотно-подъемном двухшарнирном устройстве; в) для мелкого литья сварочные посты оборудовать вертикальными и наклонными панелями равномерного всасывания; возможно также применение местного отсоса с поворотным зонтом

Источники опасности	Меры безопасности
Токоведущие части	Все токоведущие оголенные части должны быть надежно накрыты кожухом, наружные части сварочных аппаратов (кожух, корпус) заземлены, ручка электрододержателя изолирована
Транспортировка и кантовка деталей	Сварщики, связанные с перемещением грузов подъемно-транспортными устройствами, должны быть аттестованы на право производства стропальных работ; должны уметь сигнализировать крановщице голосом и жестами, зацеплять и перемещать детали внутри отделения и в цехе, определять грузоподъемность чалочных приспособлений и правильно ими пользоваться
Излучение сварочной дуги	Для защиты себя от излучений сварочной дуги и брызг металла сварщик должен пользоваться спецодеждой (брезентовая куртка, брюки, рукавицы, ботинки, галоши), щитком сварщика со стеклами-светофильтрами, должен также пользоваться защитными очками для защиты глаз от окалины при удалении шлака и зачистке наплавленного металла наждаком. Для защиты окружающих от излучений дуги сварщик должен производить сварку в кабине или пользоваться переносными щитами
Сварочный процесс	К выполнению сварочных работ допускаются сварщики, прошедшие специальную подготовку в области сварки чугуна и техники безопасности при выполнении сварочных работ

площадка III. Пол участка горячей сварки выстлан чугунной плитой, поэтому площадка, засыпанная гравием 6, предназначена для кантовки отливок.

Предусмотрены также кессон 7 для вертикального установка отливок при заварке, газовый коллектор 8 для газопитания печей, пирометрический шкаф 9 для контроля режима работы печей, вентиляционные панели 10, места расположения электросварочного оборудования 11; полуавтоматы 12 для горячей механизированной заварки, газопитание газосварочных постов природным газом 13 и кислородом 14.

Нормирование работ по исправлению дефектов осуществляется по нескольким методикам; когда отливки или детали поступают на исправление постоянно, оправдывают себя две системы.

В одном случае оценочными факторами служат характер дефекта, его размеры и способ исправления, составляющие несколько групп сложности, на каждую из которых разработаны нормативные таблицы. В состав норм времени, приведенных во всех нормативных таблицах, для облегчения нормирования включено время на отдых, и время на обслуживание рабочего места, в связи с индивидуальным характером каждой операции включено также

подготовительно-заключительное время. Приведенные нормы времени и сложности работы для различных предприятий могут быть приняты как типовые, приспособлены и изменены в соответствии с условиями работы.

В другом случае применяют сдельно-премиальную и повременно-премиальную систему оплаты труда сварщиков. Детали, поступающие на исправление, сопровождаются заказом-нарядом, в который вписаны масса каждой отливки и подсчитан общий тоннаж заваренного литья каждым сварщиком за день.

На каждый вид (холодной, горячей, газовой и дуговой) исправления литья существуют расценки, составленные в зависимости от массы детали.

В целях профилактики неблагоприятного воздействия сварочного аэрозоля, сварочной дуги, контакта с токонесущими частями, опасностей перемещения грузов и др. необходимо осуществление мероприятий, приведенных в табл. 43.

При исправлении дефектов чугунных отливок и деталей необходимо соблюдать правила техники безопасности, изложенные в соответствующих руководствах.

Глава XI

Воздушно-дуговая резка при обрубке чугунных отливок

Чугун относится к группе металлов, трудно разрезаемых и неразрезаемых обычной кислородной резкой, поэтому для обработки чугунных изделий применяют специальные методы термической резки: дуговую, электроконтактную, кислородно-флюсовую, плазменную и воздушно-дуговую.

Дуговая резка не требует применения сложного оборудования и может осуществляться электродами с обычными и специальными покрытиями. Применение специальных электродов, например электродов ЛИМ, ОЗР-1, АНР-2, повышает производительность резки в 2 раза по сравнению с производительностью резки обычными электродами. Подобные электроды для разделительной резки разработаны и за рубежом. Фирма «Кастолин» (Швейцария) выпускает электроды «Чемфертрод-03», рекомендуемые для поперечной резки.

Дуговая резка возможна на переменном и постоянном токе. Ее основные недостатки: низкая производительность и плохое качество реза. Рез получается с большими неровностями и натеками металла с обратной стороны, которые трудно удаляются. Кроме того, с увеличением толщины разрезаемого металла производительность процесса резки снижается.

При резке угольным электродом рез получается более чистым, но производительность остается низкой.

Электроконтактный способ обработки металлов основан на использовании теплоты, выделяющейся при прохождении электрического тока через участки с повышенным сопротивлением, которое возникает в месте контакта диска-инструмента и обрабатываемой детали. Проходящий через место контакта электрический ток разогревает, размягчает и плавит металл, облегчая удаление его с изделия. Для предотвращения плавления инструмента ему придают большую скорость вращения и искусственно охлаждают.

При электроконтактной резке на нагрев детали расходуется около 40—50% теплоты, выделяемой в рабочей зоне. Поэтому неизбежен значительный перегрев поверхностных слоев, что приводит к получению зоны термического влияния с измененной структурой на глубину 1—4 мм. Углеродистая сталь и серый чугун при этом закаляются. Твердость поверхности увеличивается в 1,5—2 раза.

Процесс осуществляется с использованием мощных токовых режимов до 15—20 тыс. А, поэтому установки для электроконтактной резки могут быть только стационарными и не заменяют рубку пневматическими зубилами.

При кислородно-флюсовой резке в струю режущего кислорода с помощью специальной аппаратуры непрерывно вводится порошкообразный флюс. При сгорании флюса выделяется дополнительная теплота, которая повышает температуру в месте реза металла. Вследствие этого образующиеся окислы металла остаются в жидком состоянии и дают жидкие шлаки, легко вытекающие из места реза и не препятствующие процессу резки. В качестве флюса используют сыпучий мелкозернистый железный порошок (размер зерен 0,1—0,5 мм) с некоторыми добавками.

Недостаток кислородно-флюсовой резки: при резке металла толщиной менее 15—10 мм большая часть флюса сгорает за пределами толщины металла, кроме того, возможно спекание флюса в мундштуке при перерывах в процессе его горения.

Количество выделяемых газов при сгорании флюса столь велико, что резчик должен работать в скафандре. Применять кислородно-флюсовую резку для очистки и обрубки литых взамен пневмообрубки неудобно и экономически невыгодно. Однако для решения отдельных вопросов она может находить применение в литейном производстве.

Разделительную плазменную резку успешно применяют для резки специальных сталей, цветных металлов и их сплавов. Имеются попытки применить плазменную резку в литейном производстве. Например, на некоторых заводах плазменная дуга применяется для отрезки литников на стальном литье и для подрезки торцов чугунных труб. Работы, выполненные во ВНИИЛИТМАШе, подтверждают приемлемость плазменно-дуговой резки для разделительной резки чугуна. Величина зоны термического влияния при этом составляет 1,2—1,5 мм.

При поверхностной плазменной резке чугуна из-за недостаточной кинетической энергии плазменной струи часть расплавленного металла остается на поверхности реза, зона термического влияния получается значительной (до 3—5 мм), велика возможность образования микро- и макротрещин, поэтому заменить пневмообрубку чугуна плазменной резкой в настоящее время не представляется возможным. Кроме того, следует учитывать сложность эксплуатации плазменных установок в условиях литейных цехов.

Из всех термических методов резки воздушно-дуговая резка в большей степени пригодна для удаления излишков металла с поверхности отливки, т. е. для замены пневмообрубki заливо, приливо, металлоземляных пригаров и т. п. Процесс воздушно-дуговой резки получил широкое применение в промышленности для выполнения вспомогательных работ при сварке: подрубка корня шва и разделка кромок, выплавка дефектных швов, резка тонколистовой стали, снятие грата при контактной сварке, а также при ремонтных работах, переработке металла в скрап и т. п. Промышленному применению воздушно-дуговой резки способствовали широкие технологические возможности этого способа обработки металла и высокая эффективность процесса. Воздушно-дуговую резку используют на ряде судоремонтных заводов, а также при удалении дефектов в стальных отливках и поверхностных пороках при обработке крупных поверхностей. Наиболее широкое распространение воздушно-дуговая резка получила как процесс поверхностной резки, применяемый для подрубki корня шва или разделки кромок под сварку.

Одно из важных преимуществ этого способа: возможность его применения в различных пространственных положениях. Наиболее значительное внимание исследователи уделяли обработке низкоуглеродистых и легированных сталей. Основное внимание они обращали на физико-механические свойства поверхности кромок реза. Зона термического влияния при воздушно-дуговой резке сталей в 2, а в некоторых случаях в 7 раз меньше, чем при кислородной резке. Но одновременно при воздушно-дуговой резке наблюдается повышение твердости в зоне термического влияния, так как металл в непосредственной близости к резу частично науглероживается. Данные, приводимые по этому вопросу, характеризуются некоторой разноречивостью в оценке числового значения величины науглероживания, оцениваемого по содержанию углерода на поверхности кромок реза.

И. С. Кипнис и М. Д. Темиров считают, что науглероживание поверхности, обработанной с помощью воздушно-дуговой резки, не превышает 0,04%. О незначительности науглероживания указывают также К. В. Васильев и И. С. Шапиро. По их данным для низкоуглеродистой стали науглероживание составляет 0,06—0,17%. По данным Ю. А. Маслова для стали 12X18H9T — 0,05%, для 40XНМА — 0,13%. По данным других авторов в отличие

от ранее упомянутых, наоборот, при воздушно-дуговой резке имеет место значительное науглероживание, углубление электрода в обрабатываемый металл, что способствует повышению содержания углерода на кромках реза.

Изучались также характер электрического разряда и роль струи сжатого воздуха, ее динамический напор и др.

Отмечается высокая эффективность применения для воздушно-дуговой резки постоянного тока обратной полярности. И. С. Шапиро считает, что воздушно-дуговая резка на постоянном токе обратной полярности является непрерывным процессом, несмотря на попадание струи сжатого воздуха в столб дугового разряда. При прямой полярности устойчивость нарушается, что обусловлено не только влиянием интенсивного воздушного потока, но и свойством применяемой полярности. К. К. Хренов указывает, что при прямой полярности в металле образуется глубокий ярко выраженный кратер. Расплавленный металл при этом вытесняется из ванночки. В то же время при обратной полярности кратер в металле не образуется, а, наоборот, жидкий металл как бы втягивается в дугу, в центре дуги вспучивается, образуя выступ, поднимающийся над зеркалом ванны. Образованием такого жидкого мостика и объясняет И. С. Шапиро лучшие условия удаления расплавленного металла и эффективность воздушно-дуговой резки на постоянном токе обратной полярности.

Изучалось также качественное влияние технологических параметров (силы тока и напряжения, скорости ведения процесса резки, диаметра применяемого электрода) на количество выплавленного металла. Установлено, что хотя с повышением скорости резки уменьшается глубина выплавливаемых канавок и площадь их поперечного сечения, при этом повышается количество металла выплавливаемого в течение часа.

Знание качественного влияния технологических параметров на производительность и другие показатели процесса позволило установить количественные соотношения. Зависимость производительности от тока приблизительно квадратичная. Удельный расход электроэнергии при уменьшении рабочего тока резко растет, достигая бесконечности при силе тока, близкой к пределу устойчивости дуги. Эффективность использования электрода повышается с увеличением тока, однако по достижении некоторого критического значения тока наблюдается снижение этого эффекта. Некоторые исследователи считают, что дальнейшее увеличение силы тока экономически нецелесообразно, так как увеличивается расход электродов, который является основной статьей затрат на осуществление процесса и, кроме того, наблюдается в месте реза отложение пленки аморфного углерода [7].

Другие авторы, наоборот, утверждают, что отложений аморфного углерода не наблюдается, и с экономической точки зрения выгодно увеличивать силу тока и выше критического значения, поскольку производительность резки продолжает расти, а удель-

тый расход электроэнергии уменьшается. При этом указывается, что при воздушно-дуговой резке на постоянном токе обратной полярности процесс протекает устойчиво, поверхность реза получается наиболее чистой, производительность процесса наиболее высокая и остальные технико-экономические показатели выше, чем при применении постоянного тока прямой полярности.

Применение же переменного тока вообще затруднено. Некоторые авторы рекомендуют в этом случае повышать напряжение холостого хода, использовать осциллятор и снижать давление сжатого воздуха [29]. Тогда воздушно-дуговую резку, по их мнению, можно использовать для обработки мелких канавок. В. С. Павличенко, наоборот, рекомендует применять пониженное напряжение холостого хода, за счет чего искусственно удлиняется длительность коротких замыканий. При этом он считает, что контактная стадия является решающим фактором при плавлении металла и называет процесс воздушно-электроконтактной резкой.

Однако известно, что при горении дуги выделяется теплоты в 6—8 раз больше, чем при коротком замыкании. Чтобы создать соответствующее тепловыделение в контакте, величину тока необходимо увеличить в 8—10 раз, что можно достигнуть только в специальных установках и в стационарных условиях, т. е. при обычной электроконтактной резке, сущность которой изложена в начале раздела.

При воздушно-дуговой резке короткие замыкания предшествуют стадии горения дуги — это естественный подготовительный этап ее возбуждения. Стадия горения дуги определяет интенсивность плавления металла. Следовательно, воздушно-дуговой резке присущ контактно-дуговой характер процесса при преобладающем тепловыделении на стадии дуги. При понижении рабочего напряжения дуговой процесс становится менее устойчивым и при напряжении 22 В и ниже прекращается, одновременно прекращается и процесс резки.

Общетехнологические и экономические преимущества воздушно-дуговой резки способствуют распространению данного процесса в промышленности. Однако осуществление процесса требует специальной оснастки и аппаратуры. В настоящее время в промышленности применяются несколько десятков типов резаков (электрододержателей). Такое многообразие вызвано тем, что ряд организаций и заводов создает самостоятельно различные конструкции, имеющие зачастую незначительные отличия.

Централизованно изготавливается только один тип резаков РВД-4А-66 конструкции ВНИИАВТОГЕНМАШа. Эти резаки рассчитаны на ток 350—420 А, что ограничивает область их применения выплавкой корня шва, разделкой кромок под сварку, удалением дефектных участков сварного шва и срезкой заклепок. В литейном и прокатном производстве, где рубка пневматическими зубилами особенно трудоемка и условия труда весьма

тяжелые, стандартные резаки из-за их малой мощности и уязвимости практически не применяют.

Фирма Argair (США) выпускает два типа резаков для воздушно-дуговой резки круглыми электродами: с вращающимися губками для работы электродами малого диаметра в монтажных условиях и с фиксированным углом крепления электрода для работы также круглыми электродами, но большого диаметра (до 3/4") для выполнения трудоемких операций по выплавке металла на повышенных токовых режимах.

Оригинальная конструкция электрододержателя для воздушно-дуговой резки предложена М. А. Винниченко. Сжатый воздух использован не только для выдувания металла, но и для надежного зажатия электрода при помощи пневмопривода в корпусе резака. Но держатель работает только на токах до 500 А. Крепление электрода пневмозажимом также осуществлено в резаке Г. Н. Воеводина, который рассчитан на токи до 1000 А. Он весьма громоздок и тяжел.

В резаке конструкции В. С. Павличенко использован тот же принцип пневматического зажима электрода. Резак рассчитан на токи до 1300 А. Он также обладает рядом серьезных недостатков. В нем использован для поджатия электрода свободно истекающий, предварительно дросселированный воздушный поток. В этом случае давление в цилиндре не равно сетевому (4—5 кгс/см²), а составляет всего 0,7—0,9 кгс/см², что не обеспечивает надежного зажатия электрода.

Резак дает недостаточную по мощности воздушную струю для выдувания расплавленного металла, имеет паяные соединения, разрушающиеся при интенсивной работе на большом токе. Не оправдано расположение воздушного вентиля на резаке, так как резчик пользуется им в среднем один раз в час при подаче отливок в кабину. Это вызвано тяжелыми условиями работы и необходимостью дополнительного охлаждения во время малых пауз сильно нагретых губок. Сам вентиль оказывает значительное сопротивление воздуху, снижает интенсивность воздушного дутья и утяжеляет резак. Отрицательно сказывается на работе шарнирного соединения его обмотка шнуровым асбестом, пропитанным жидким стеклом.

Перечисленные недостатки устранены в резаке, предложенном В. Н. Ломако. Воздушный вентиль вынесен за пределы резака, в место подсоединения рукава к воздушной магистрали, причем сечение каналов вентиля соизмеримо с сечением рукава. Электрод вставляется в гнездо головки и зажимается подвижной медной губкой с помощью стального винта с асботекстолитовой рукояткой. Данный резак более надежен, обеспечивает интенсивное воздушное дутье, что благоприятно сказывается на процессе резки и качестве поверхности реза. Однако конструкция резака с наличием выступающих частей остается громоздкой (прижимной винт), что затрудняет его применение при удалении

лишнего металла внутри отливки. Большинство остальных конструкций резаков вообще непригодно для условий работы в литейных цехах.

В ряде работ указано, что использование воздушно-дуговой резки позволяет ликвидировать такую трудоемкую операцию, какой является рубка пневматическим зубилом. Н. Е. Голубенко и С. А. Катък считают возможным использовать этот метод для удаления дефектных участков на отливках для изготовления деталей вагонов.

На некоторых сталелитейных заводах США воздушно-дуговая резка успешно применяется вместо рубки с помощью пневматического зубила. М. А. Хатламаджан провел сопоставление между воздушно-дуговой резкой и рубкой пневматическим зубилом при обрубке стального литья. Он указывает, что количество металла, удаляемое обрубщиком за смену с помощью пневматического зубила, составляет только 4—4,5 кг, тогда как при использовании воздушно-дуговой резки оно возрастает до 12—20 кг.

Широкое применение чугунного литья обуславливает целесообразность применения воздушно-дуговой резки для его обработки. Однако использование для обработки чугуна воздушно-дуговой резки, осуществляемой на постоянном токе обратной полярности с помощью угольных электродов, малоэффективно. В связи с этим ряд авторов рекомендуют обработку чугуна угольными электродами на постоянном токе прямой полярности.

Некоторые авторы считают более целесообразным при использовании воздушно-дуговой резки для обработки чугуна применение переменного тока, однако в связи с недостаточной устойчивостью поддержания дугового разряда на переменном токе при использовании угольных электродов они рекомендуют применять для этих целей металлические толстопокрывые электроды.

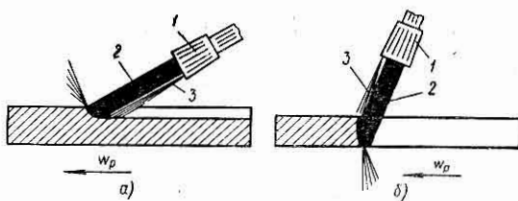
На возможность применения для чугуна воздушно-дуговой резки металлическими электродами также указывает К. В. Васильев. Следует отметить, что и это решение недостаточно эффективно, так как при резке с помощью металлических электродов максимальное количество металла, выплаваемого 1 кг электродов, не превышает 3 кг. По данным Ю. А. Маслова, при применении металлических электродов на 1 кг выплавленного металла расходуется до 2 кг электродов, что превышает расход графитовых в 25—30 раз.

Общая черта всех способов газозлектрической резки — нагрев и расплавление обрабатываемых металлов теплотой электрической дуги. Струя газа, подаваемая при этом на поверхность металла, способствует интенсификации процесса и устраняет основной недостаток дуговой резки — низкую производительность и неудовлетворительное качество реза. Воздействие газовой струи на обрабатываемый металл при различных способах газозлектрической резки носит различный характер. Наиболее распространена среди способов газозлектрической резки воздушно-дуговая резка.

Сущность воздушно-дуговой резки заключается в расплавлении металла электрической дугой и удалении расплава интенсивным потоком сжатого воздуха, подаваемого в зону реза. Оба процесса — нагрев и расплавление металла электрической дугой и удаление расплавленного металла струей сжатого воздуха — протекают одновременно. В отличие от дуговой резки, при которой необходимо все время подогревать каплю расплавленного металла до момента ее отрыва от обрабатываемого изделия, что обуславливает затраты электроэнергии на перегрев и испарение металла, при воздушно-дуговой резке расплавленный металл удаляется немедленно. Поэтому этот способ резки не сопровождается перегревом и испарением расплавленного металла и ограничивает теплоотвод в обрабатываемый металл.

Рис. 36. Схема процессов воздушно-дуговой резки:

1 — резак; 2 — электрод; 3 — сжатый воздух



При кислородной резке струя кислорода интенсифицирует рабочий процесс выделением большого количества теплоты, которым сопровождается окисление металла, а при воздушно-дуговой резке струя газа оказывает только механическое воздействие на металл, расплавленный электрической дугой, удаляя его. Так как электрическая дуга может расплавить металл лишь на определенную глубину, то по диапазону обрабатываемых толщин и производительности процесса воздушно-дуговая резка уступает кислородной, но в отличие от нее может быть использована для обработки всех тех металлов, которые могут быть расплавлены с помощью электрической дуги.

Воздушно-дуговую резку применяют преимущественно для поверхностной обработки, но ее можно использовать и как разделительную. При поверхностной резке (рис. 36, а) закрепленный в резачке электрод направляют под углом $30\text{--}45^\circ$ в точку начала реза и, сохраняя его положение, перемещают по линии реза, углубив конец электрода в образующуюся канавку. Воздушный поток, направленный вдоль электрода, выбрасывает выплавленный металл вперед и частично в стороны. На поверхности обрабатываемого объекта может откладываться небольшое количество застывших шлаков, легко удаляемых по окончании резки.

При разделительной резке (рис. 36, б) электрод углубляется на всю толщину разрезаемого металла. Удерживая его под углом $60\text{--}90^\circ$ и перемещая вдоль линии реза, получают сквозной разрез. При резке металла большой толщины конец электрода перемещают внутри полости реза пилообразно, от верхней кромки к ниж-

ней и наоборот. Продукты резки выдуваются сквозь образующуюся полость. О роли струи сжатого воздуха можно судить из сравнительных данных, полученных И. С. Шапиро (табл. 44) по использованию различных рабочих газов: кислорода, воздуха, аргона и азота.

Т а б л и ц а 44. Влияние применяемого газа на содержание продуктов расплава и производительность резки

Применяемый газ	Режим резки *		Содержание по результатам анализа, % по массе			Производительность резки, кг/ч
	Сила тока, А	Скорость резки, мм/мин	Fe	Fe ₃ O ₄	Fe ₂ O ₃	
Кислород	200	580	70,1	15,4	14,5	6,28
Воздух	190	570	80,3	7,9	11,8	6,20
Азот	200	580	80,2	8,5	11,3	6,22
Аргон	200	570	81,0	7,7	11,3	6,23

* Диаметр электрода 6 мм.

Как видно из табл. 44, при использовании кислорода продукты резки получаются несколько более окисленными, однако производительность резки практически не отличается для различных газов. Газовая струя оказывает в основном механическое воздействие на расплавленный металл, способствуя его удалению из полости реза, в то время как термохимическое воздействие газовой струи незначительно и не зависит от химической активности применяемого газа. Химический состав продуктов при дуговой резке металлическими электродами мало отличается от приведенных выше результатов. Данные обстоятельства указывают на электротермическую сущность процесса воздушно-дуговой резки, при котором функция применяемого газа ограничивается механическим удалением расплавленного металла из полости реза.

Если применяемый газ не оказывает существенного влияния на производительность процесса, то он сильно влияет на скорость сгорания угольного электрода при осуществлении резки. Так, если расход электродов при резке с подачей азота на рабочем режиме: сила тока 300 А, диаметр электрода 6 мм, расход газа 18 м³/ч, принять за 100%, то при осуществлении резки с подачей сжатого воздуха на том же режиме расход электродов составляет 120%, а при подаче кислорода — 160%.

Влияние рода тока и полярности достаточно подробно изучено многими исследователями. Для воздушно-дуговой резки различных сталей единодушно рекомендовалось применять постоянный ток обратной полярности. Однако это традиционное решение неприемлемо для обработки чугуновых отливок из-за неудовлетворительности удаления расплава из полости реза и низкого ка-

чества его поверхности. Некоторого разжижения расплава, а следовательно, и улучшения условий его удаления можно достигнуть, применяя повышенные токовые режимы, однако при этом резко возрастает магнитное дутье, затрудняющее ведение процесса. С целью оценки величины магнитного дутья при применении постоянного тока рассмотрим действие на дугу магнитного поля тока рабочей цепи.

Магнитное поле в зоне дугового разряда создается собственным током рабочей цепи. Его индукция может быть определена по закону Био-Савара—Лапласа:

$$dB = \mu I \left[\overline{dl} \frac{\vec{r}}{r^3} \right].$$

Следовательно, для вычисления индукции, создаваемой всей сварочной цепью, необходимо проинтегрировать уравнение

$$dB = \mu I \frac{dl}{r^2} \sin(\widehat{dl, r})$$

в пределах изменения l и r для этой цепи. Однако, поскольку dB обратно пропорционально квадрату расстояния r элемента цепи dl до интересующей нас зоны, пределы интегрирования без существенной ошибки можно сократить, ограничив их участком цепи, непосредственно примыкающим к дуге. Поле, создаваемое участком AB цепи (рис. 37) на расстоянии r от оси дуги при $r \ll \ll AB$

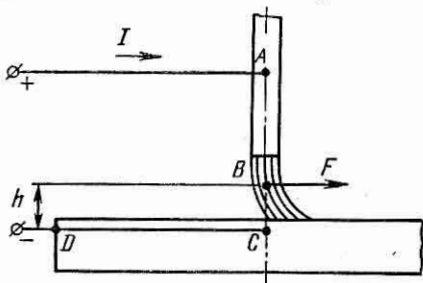


Рис. 37. Схема действия на дугу постоянного тока собственного поперечного магнитного поля

$$B_1 = \mu I \frac{1}{4\pi r}.$$

Оно направлено по касательной к окружности, центр которой совпадает с осью дуги и осью электрода. Взаимодействие этого поля со столбом дуги обуславливает силу, направленную к его центру (пинч-эффект). Она не вызывает отклонения столба. Ток, текущий по участку цепи CD , создает на расстоянии h поле (при $CD \gg h$)

$$B_2 = \mu \frac{I}{4\pi h},$$

которое в зоне дуги направлено перпендикулярно плоскости чертежа. По отношению к току дуги оно является поперечным, поэтому вызывает отклонение столба дуги. Воспользовавшись правилом левой руки, нетрудно обнаружить, что столб отклоняется вправо. Описанное явление отклонения столба дуги и есть магнитное дутье. Сила, действующая на столб,

$$F = IB_2 l_d = \mu I^2 \frac{l_d}{4\pi h}.$$

Она растет пропорционально квадрату силе тока дуги, поэтому магнитное дутье становится все значительнее по мере увеличения силы тока. Так, при осуществлении воздушно-дуговой резки серого чугуна при $I = 1000$ А, длине дуги $l_d = 1$ мм, величине $h = 2$ см электромагнитная сила, отклоняющая столб дуги, $F = \mu I^2 \frac{l_d}{4\pi h} = 4 \cdot 10^{-7} \cdot 750 \cdot 1000^2 \frac{1 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 0,02} = 6,4 Н = 0,64$ кгс = 640 гс.

Таким образом, при осуществлении воздушно-дуговой резки на постоянном токе возникает достаточно мощное магнитное дутье

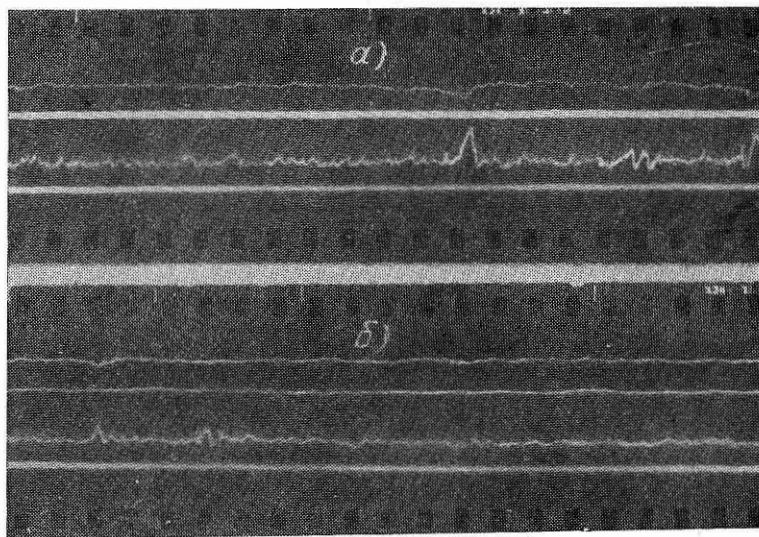


Рис. 38. Осциллограммы процесса воздушно-дуговой резки:

a — постоянный ток, обратная полярность ($I = 1200$ А, $\omega_p = 420$ мм/мин); *б* — выпрямленный ток, обратная полярность ($I = 1200$ А, $\omega_p = 420$ мм/мин)

(при рабочем токе 1000 А достигает 640 кгс), что, естественно, затрудняет ведение процесса при работе вручную. При механизированной воздушно-дуговой резке влияние собственного электромагнитного поля сказывается в меньшей мере, но нейтрализовать его полностью не представляется возможным, это отрицательно отражается на качестве поверхности реза. Рез получается неровным, что связано с дополнительными затратами на обработку поверхности.

При воздушно-дуговой резке на токе обратной полярности от двух преобразователей ПСМ-1000, соединенных параллельно, процесс идет удовлетворительно, дуга горит достаточно устойчиво (рис. 38, *a*), но интенсивное магнитное дутье не позволяет получать ровную поверхность реза, причем изменение полярности

не приводит к существенному изменению характера процесса. И на прямой, и на обратной полярности ванна расплавленного металла малоподвижна, поверхность реза получается рваной, в рытвинах. Продукты расплава, попадающие на поверхность металла рядом с резом, плотно прилипают, привариваются к изделию в связи со значительным перегревом ванны расплавленного металла и с трудом удаляются зубилом. Капли высокоперегретого металла и шлака, удаляемые из зоны реза струей сжатого воздуха, схватываются с поверхностью основного металла и друг с другом.

При применении сварочного выпрямителя ВДМ-1601 процесс резки протекает стабильно (рис. 38, б), поверхность реза несколько лучше, чем при резке на постоянном токе. Чистота реза зависит от применяемой полярности — выше при работе на выпрямленном токе обратной полярности. Капли расплавленного металла так же, как и при воздушно-дуговой резке чугуна на постоянном токе, прочно схватываются с поверхностью детали. Некоторое улучшение качества поверхности реза при ведении процесса на выпрямленном токе можно объяснить несколько большей подвижностью сварочной ванны. Однако при использовании выпрямленного тока так же, как и при работе на постоянном токе, качество реза значительно уступает качеству поверхности отливки.

Первые исследования по применению переменного тока для воздушно-дуговой режки проводились под руководством К. В. Васильева. Дуга уголь—металл переменного тока считается мало пригодной для воздушно-дуговой режки вследствие низкой устойчивости разряда. Устойчивость горения дуги, возбуждаемой несколько повышенным наложением на дугу дополнительного высокочастотного разряда, проведением процесса режки при повышенных токовых режимах или при повышенном напряжении дуги. Однако удовлетворительное протекание процесса удавалось получить только при пониженном давлении сжатого воздуха (не более $2,5-3$ кгс/см²), так как применение обычного для воздушно-дуговой режки на постоянном токе обратной полярности давления $4-6$ кгс/см² приводит к значительному уменьшению устойчивости процесса.

При воздушно-дуговой режке переменным током рекомендовалось зажигание дуги производить вначале без подачи воздуха, а затем последний подавать после надлежащего разогрева конца электрода. Для поверхностной воздушно-дуговой режки чугуна более целесообразным считалось применение металлических электродов. Все эти приемы непригодны для обработки поверхностей чугунных отливок. Применение осцилляторов на обрубных участках оказалось малопримемым в связи с повышенной запыленностью, в том числе металлической пылью.

При зажигании дуги без подачи воздуха переплавленный участок получается с отбеленной (цементитной) структурой,

зачастую с образованием сетки трещин. Уменьшение давления сжатого воздуха ухудшает условия удаления расплава из полости реза, способствует сохранению слоя расплавленного металла на поверхности реза, что приводит к увеличению зоны термического влияния, снижает качество поверхности реза, ухудшает отделяемость выплавленного металла поверхности отливки. Применение металлических электродов для поверхностной воздушно-дуговой резки чугуна позволяет значительно разбавить ванну расплавленного металла за счет материала электрода, снизить вязкость продуктов расплава и тем самым улучшить условия его удаления из полости реза. Однако этот путь экономически не оправдан из-за чрезвычайно большого расхода электродов.

Воздушно-дуговую резку можно рассматривать как своеобразную термическую обработку металлов, при которой материал детали подвергается местному тепловому воздействию.

В процессе воздушно-дуговой резки имеют место большие скорости нагрева и охлаждения зоны металла, примыкающей непосредственно к поверхности реза. В связи с высокой чувствительностью чугуна к местному термическому воздействию возможен отбел поверхности реза, что затрудняет последующую механическую обработку. Кроме того, большой температурный перепад, связанный с концентрированным нагревом при термической резке, может вызвать значительные внутренние напряжения. Последние в связи с низкой пластичностью чугуна способствуют образованию трещин. На склонность чугуна к отбелу и трещинообразованию при любом методе термической резки оказывает влияние его химический состав, структура и режимы резки.

Наличие в чугунах высокого содержания кремния вызывает образование вязких шлаков, которые препятствуют нормальному протеканию процесса воздушно-дуговой резки. Поэтому важен выбор оптимального варианта процесса, позволяющего получать удовлетворительное качество обрабатываемой поверхности, в связи с чем необходимо рассмотреть применительно к чугуну основные характеристики процесса воздушно-дуговой резки, которые определяются прежде всего родом тока и полярностью, характером электрического разряда, поведением ванны расплавленного металла, влиянием струи сжатого воздуха.

Изыскание рациональных путей промышленного применения переменного тока при воздушно-дуговой резке значительно расширяет область применения процесса, так как в этом случае повышается подвижность ванны расплавленного металла, т. е. улучшаются условия удаления расплава из полости реза. Кроме того, трансформаторы менее дефицитны, дешевле, надежнее в эксплуатации, чем машины постоянного тока.

С увеличением силы тока стабильность горения дуги возрастает. Это объясняется тем, что при увеличении тока повышается тепловая энергия электродов, представляющих собой наиболее инерционную часть системы тел, вовлеченных в дуговой разряд,

изменение энергии которой определяет ход динамических характеристик дуг переменного тока. После прекращения протекания тока торец электрода, доведенный до температуры кипения (испарения), начинает охлаждаться в результате теплопроводности в сторону электрода. Лучевыми потерями и теплоотдачей боковой поверхностью можно пренебречь. Физические условия процесса позволяют воспользоваться для его описания тепловой теорией а именно: методом мгновенных источников и частным случаем распространения теплоты плоского источника вдоль бесконечного стержня. На торце электрода в этом случае температура убывает со временем

$$T = \frac{W}{c\gamma S (4\pi at)^2},$$

где W — тепловая энергия; c , γ , a — теплоемкость, плотность и температуропроводность материала электрода; S — площадь сечения электрода; t — время охлаждения электрода.

В прерывающемся к дуге слое электрода малой толщины S внутренняя энергия выключения после тока и охлаждения на ΔT убывает на величину $\Delta W = c\gamma\delta S \Delta T$. Для передачи ее теплопроводностью необходимо время

$$\Delta t = \frac{\Delta W}{\eta \frac{dT}{dx} S} = \frac{c\gamma\delta\Delta T}{\eta \frac{dT}{dx}},$$

где η — коэффициент теплопроводности.

Подставив теплофизические характеристики материала электрода и градиент температуры на его конце $\frac{dT}{dx} = 10^6 \text{ K/м}$ получаем, что слой $\delta = 0,02$ см охлаждается на $\Delta T = 1000^\circ \text{ C}$ за $\Delta t = 0,01$ с.

В опытах по исследованию устойчивости дуг переменного тока обнаружено весьма длительное существование проводимости после гашения дуги (в течение 0,04—0,2 с), т. е. значительно больше расчетных величин. Это явление наблюдалось при применении вольфрамовых и графитовых электродов и объясняется тепловым контактом газа с поверхностью электрода, разогретого дугой до высокой температуры и охлаждающегося до температуры прекращения термоэлектронной эмиссии (около 2000 К) в течение 0,05—0,5 с. Учитывая, что при воздушно-дуговой резке на переменном токе длина дуги короткая (0,1—1 мм) и редко достигает 2 мм, значительная тепловая энергия электродов и связанные с этим явления облегчают повторное зажигание дуги.

Вопросы теории дуги С—Fe постоянного тока достаточно полно изучены Г. М. Тиходеевым. Большое внимание он уделил вопросам измерения статических вольт-амперных характеристик дуги $\text{C}^{(-)} - \text{Fe}^{(+)}$, где показал, что при малых токах вольт-амперная характеристика дуги в воздухе имеет падающий характер, а для мощных дуг — возрастающий характер. Выполненные во

ВНИИЛИТМАШе измерения вольт-амперных характеристик дуги С—Fe переменного тока показали аналогичные результаты.

Как видно из кривых, приведенных на рис. 39, вольт-амперные характеристики дуги значительной мощности при использовании круглых угольных электродов диаметром 10 мм, а также угольных электродов прямоугольного сечения 10×15 мм и 15×15 мм имеют возрастающий характер, причем увеличение напряжения дуги достигает 15—20 В. Это явление может быть объяснено тем, что размеры активных пятен на электродах с повышением тока имеют тенденцию к увеличению, а размеры поперечного

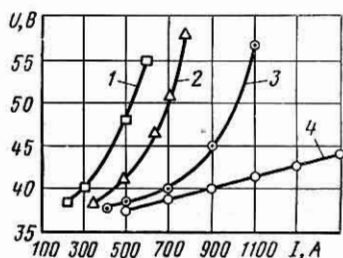


Рис. 39. Статические вольт-амперные характеристики дуги:

1 — электрод \varnothing 10 мм; 2 — электрод 10×15 мм; 3 — электрод 15×15 ; 4 — электрод 15×25 мм

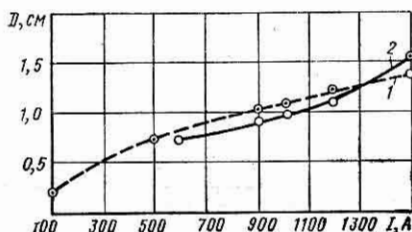


Рис. 40. Размеры активных пятен:

1 — расчет; 2 — эксперимент

сечения электрода их ограничивают. Этим и вызывается повышение напряжения дуги.

Размеры активных пятен определяли по отпечаткам дуги на электродах (рис. 40). Полученные данные близки к расчетным по формуле $D = 0,041 I^{1/2} - 0,18$ см, предложенной Г. М. Тиходеевым для дуги С⁽⁻⁾ — Fe⁽⁺⁾, исходя из условия, что столб дуги имеет круглоцилиндрическую форму.

Зависимость характера вольт-амперных характеристик дуги С—Fe переменного тока в воздухе от условий размещения активных пятен на электродах подтверждается результатами кино съемки. На рис. 41 приведены кадры, показывающие горение дуги, возбужденной угольным электродом диаметром 10 мм при силе тока 500 А и электродом прямоугольного сечения размерами 15×25 мм при 1100 А. В первом случае активное пятно не помещается на торце электрода и стремится распространиться на боковую поверхность электрода. Горение дуги происходит в несколько стесненных условиях, чем и объясняется повышение напряжения дуги, причем значительное. Во втором случае, когда площадь торца электрода в несколько раз превышает площадь активного пятна, последнее свободно перемещается по торцу электрода. Процесс протекает устойчиво без заметного повышения напряжения дуги.

Таким образом, представляется возможным получить устойчивое горение дуги С—Fe переменного тока путем повышения токовых режимов с одновременным значительным увеличением площади поперечного сечения электрода. Выполненное осциллографирование процесса воздушно-дуговой резки и скоростная киносъемка подтвердили правильность выбранного направления. При применении токов до 700 А или при недостаточном сечении электрода процесс резки протекает неустойчиво. Наблюдается полупериоды, когда дуга вообще не успевает возникнуть, так как при данных условиях напряжение оказывается недостаточным для возбуждения дугового разряда. Пики зажигания значительны, время горения дуги в каждом полупериоде мало (рис. 42, а). Интенсивность процесса низка, качество реза неудовлетворительное.

При достаточно развитом сечении электрода (в 3—5 раз превышающем площадь активного пятна) с увеличением тока устойчивость процесса воздушно-дуговой резки повышается. Уже при токах 800—900 А дуга возбуждается в каждый полупериод, продолжительность

горения дуги также увеличивается. Однако пики зажигания все еще остаются значительными (рис. 42, б). При увеличении токов свыше 1000 А процесс резки протекает устойчиво (рис. 42, в—с) пики зажигания незначительны и даже исчезают совсем. Время горения дуги в каждом полупериоде составляет около 9 мс при средних значениях перерывов в горении дуги 1 мс. Осциллограммы тока и напряжения принимают тот же характер, что и при сварке, когда условия существования дугового разряда не осложнены наличием интенсивного воздушного потока.

При осуществлении воздушно-дуговой резки от трансформатора с жесткой внешней характеристикой устойчивость горения дуги ухудшается, средние значения перерывов увеличиваются до 0,00449—0,00525 с.

Перерывы в горении дуги наблюдаются также при воздушно-дуговой резке на постоянном и выпрямленном токе. Они повторяются реже, но протекают в большинстве случаев дольше (до

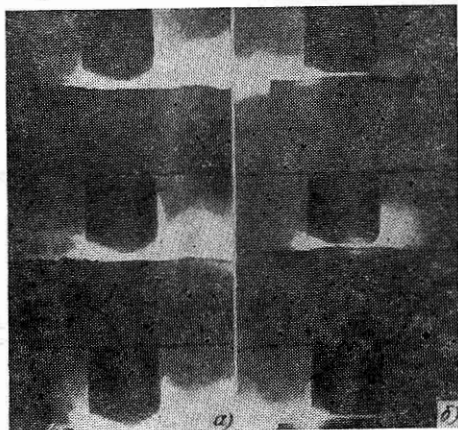


Рис. 41. Дуга С—Fe переменного тока (кадры скоростной киносъемки):

а — электрод \varnothing 10 мм, $I = 500$ А; б — электрод 15×25 мм, $I = 1100$ А

0,178 с). Иногда удается зафиксировать при воздушно-дуговой резке на выпрямленном токе обратной полярности промежутки длительностью 0,5—0,6 с (время продолжительности скоростной киносъемки при емкости кассеты 30 м пленки) без перерывов в горении дуги. Однако в среднем суммарное время перерывов в горении дуги за промежуток каждой киносъемки при воздушно-дуговой резке на постоянном и выпрямленном токе соизмеримо

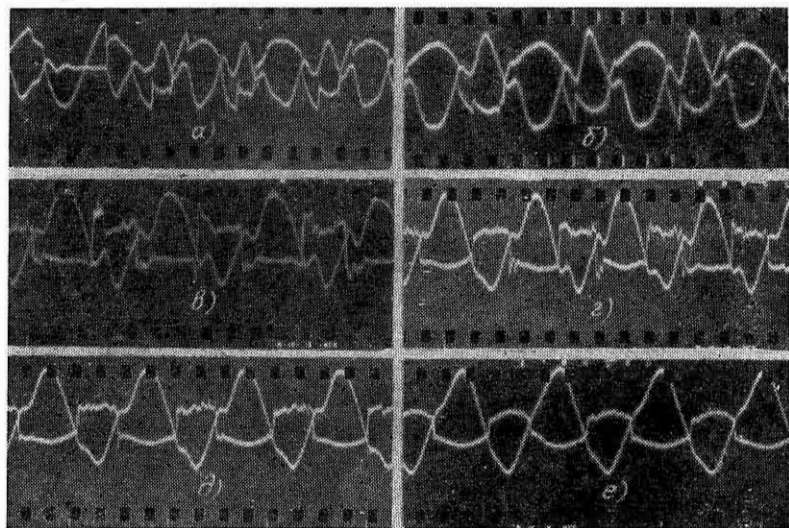


Рис. 42. Осциллограммы тока и напряжения при воздушно-дуговой резке на переменном токе:

a — $I = 600$ А; $\varnothing 10$ мм; *б* — $I = 800$ А; 10×15 мм; *в* — $I = 1000$ А; 15×15 мм;
г — $I = 1100$ А; *д* — $I = 1300$ А; *е* — $I = 1500$ А; *з-е* $I = 15 \times 25$ мм

с суммарным временем перерывов при работе на переменном токе 1000—1200 А электродом 15×25 мм, что еще раз подтверждает достаточную устойчивость процесса воздушно-дуговой резки чугуна при использовании мощной дуги С—Fe переменного тока и электродов увеличенного сечения.

Таким же важным моментом при осуществлении процесса воздушно-дуговой резки является удаление расплавленного металла из полости реза. При применении переменного тока электрогидродинамические силы изменяются как по интенсивности, так и по направлению (рис. 43), что вызывает колебательные движения ванны, которые резко повышают подвижность ванны расплавленного металла и облегчают удаление расплава струей сжатого воздуха. При больших токах как электромагнитная сила $P_{эм}$, так и сила давления дуги P_d оказывают существенное воздей-

ствии на металл ванны и электрод. Величина электромагнитной силы определяется по формуле

$$P_m = \frac{\mu I^2}{4\pi} \ln \frac{r_d}{r_3}.$$

Направление этой силы не зависит от направления тока, она всегда направлена от меньшего сечения зоны переменного сечения проводника к большему. При силе тока 1000 А она достигает 5 гс. Величина силы давления дуги определяется по формуле

$$P_d = kI^2,$$

где k — коэффициент пропорциональности, учитывающий материал электродов, среду, в которой горит дуга, полярность и другие условия горения дуги. Для дуги С—Fe этот коэффициент имеет следующие значения: прямая полярность — $1,4 \times 10^{-5}$ гс/А²; обратная полярность — $3,4 \cdot 10^{-5}$ гс/А².

Давление дуги направлено от катода к аноду, так как оно в основном определяется электрическим полем, которое наибольшую напряженность имеет в области катодного пятна. Давление дуги может деформировать металл ванны, вытягивая его в виде конуса от катода к аноду при обратной полярности. При силе тока 1000 А в полупериоде, когда угольный электрод является катодом, сила давления дуги достигает $P_d = 1,4 \cdot 10^{-5} \cdot 1000^2 = 14$ гс и направлена от электрода на ванну расплавленного металла. В результате воздействий суммарной силы ($P_m + P_d = 5 + 14 = 19$ гс) зеркало ванны как бы прогибается. При смене полярности в следующем полупериоде $P_d = -3,4 \cdot 10^{-5} \times 1000^2 = -34$ гс и меняет свое направление. Суммарная сила в этом случае $P_m + P_d = 5 - 34 = -29$ гс и направлена от ванны расплавленного металла в сторону графитового электрода, что вызывает вытягивание металла вверх.

Ввиду частой смены направления действий результирующей силы (частота 50 Гц) поверхность металла жидкой ванны не успевает деформироваться на значительную величину. Просмотр ленты скоростной киносъемки дуги С—Fe без подачи сжатого воздуха показывает, что амплитуда колебаний поверхности расплавленного металла незначительна, но ванна расплавленного металла благодаря этим колебаниям весьма подвижна. При осуществлении воздушно-дуговой резки этот фактор способствует

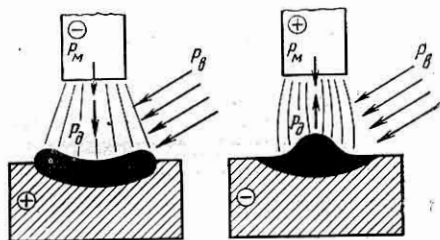


Рис. 43. Схемы основных сил, действующих на жидкую ванну:

P_m — электромагнитной; P_d — давления дуги;
 P_B — давления воздушной струи

улучшению условий удаления расплавленного металла из полости реза интенсивной воздушной струей, которая является основной силой, обеспечивающей удаление расплава, и ее величина составляет ~ 80 гс/см². Вспучивание ванны в результате окисления углерода, содержание которого в чугунах высоко (обычно 3—4%), также способствует удалению расплавленного металла.

Удовлетворительность условий удаления расплава из полости реза при воздушно-дуговой резке чугуна на переменном токе подтверждается данными скоростной съемки, которая показала прежде всего дискретность выброса металла из полости реза. При скорости съемки 3900 кадров/с можно достаточно четко разграничить стадии выброса металла из полости реза и зафиксировать интервалы между двумя соседними выбросами. На переменном токе средняя длительность одного выброса составляет 0,0037 с (табл. 45), а интервал между выбросами 0,0022 с, в то время как на постоянном токе длительность выброса составляет 0,0045 с при интервале между выбросами 0,0073 с, т. е. в 3 раза больше, чем на переменном токе.

Т а б л и ц а 45. Данные скоростной съемки по выбросу металла из полости реза

Род тока	Время (среднее), с	
	Выброс металла	Перерыв
Переменный	0,0037	0,0022
Постоянный (обратная полярность)	0,0045	0,0073

Примечание. Сила тока 1200 А, средняя скорость съемки 3900 кадр/с.

Таким образом, для интенсификации процесса удаления расплавленного металла из полости реза следует применять переменный ток, который обеспечивает достаточную чистоту реза, соизмеримую с шероховатостью поверхности отливок (рис. 44). Кроме того, время контакта расплава с основным металлом при воздушно-дуговой резке чугуна на переменном токе значительно меньше, следовательно, термическое и химическое воздействие на основной металл также уменьшается. Термическое воздействие процесса на деталь оценивали по результатам определения теплового баланса и металлографическим исследованиям.

Полезной частью энергии, используемой при воздушно-дуговой резке, является лишь та, которая расходуется на выплавление металла. Для оценки теплового баланса при воздушно-дуговой резке используем понятие эффективного теплового коэффициента η_1 , представляющего собой отношение теплоты, затрачиваемой на выплавление металла, к общему количеству потребляемой теплоты. С позиции теплового воздействия на основной металл

важная характеристика — коэффициент η_2 , учитывающий долю теплоты, поглощаемой деталью (рис. 45).

В результате калориметрирования установлено, что минимальной теплоотдачи в изделие удастся добиться при воздушно-дуговой

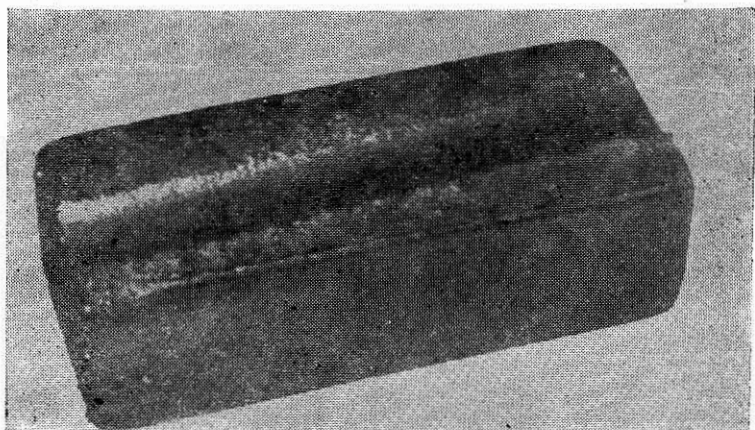


Рис. 44. Внешний вид реза, выполненного воздушно-дуговой резкой на переменном токе

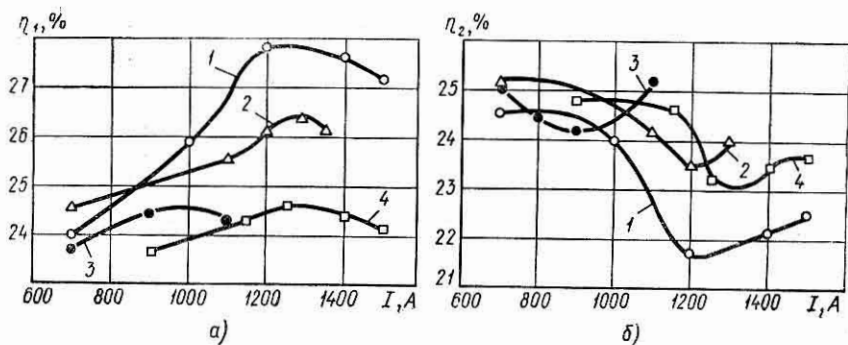


Рис. 45. Тепловые характеристики процесса воздушно-дуговой резки чугуна:
 а — эффективный тепловой коэффициент; б — коэффициент теплоотдачи в основной металл:
 1 — ТСД-2000; 2 — ВДМ-1601; 3 — трансформатор с жесткой внешней характеристикой;
 4 — ПСМ-1000 — два трансформатора, соединенных параллельно

вой резке на переменном токе (табл. 46). В этом случае на выплавление металла расходуется большая часть тепловой энергии дуги, чем при применении постоянного и выпрямленного тока. При использовании переменного тока процесс резки идет устойчиво, ванна расплавленного металла наиболее подвижна, поэтому

продукты расплава не перегреваются, удаляются полностью и без задержек, а это препятствует передаче тепла в глубь металла. Таким образом, подтверждено сделанное по результатам скоростной съемки предположение, что уменьшение времени контакта расплава при воздушно-дуговой резке на переменном токе должно снижать тепловложение в изделие.

Т а б л и ц а 46. Баланс теплоты при воздушно-дуговой резке чугуна

Источник питания	Сила тока, А	Баланс теплоты, %		
		Деталь	Выплавленный металл	Электрод, воздух, излучение и пр.
ТСД-2000	700	24,6	24,2	51,2
	1000	24,0	25,9	50,1
	1200	21,7	27,8	50,5
	1400	22,2	27,5	50,3
ВДМ-1601	700	25,1	24,5	50,4
	1100	24,2	25,5	50,3
	1200	23,5	26,1	50,4
	1300	24,0	26,1	49,9
ПСМ-1000	900	24,8	23,4	51,8
	1150	24,6	24,2	51,2
	1250	23,3	24,8	51,9
	1400	23,4	24,5	52,1

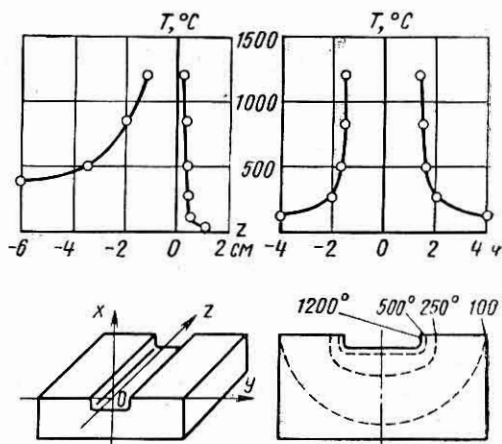
Структурные изменения в поверхностном слое зависят от термического воздействия процесса резки на основной металл. Изучение баланса теплоты при воздушно-дуговой резке чугуна позволяет оценить долю теплоты, поглощаемую металлом отливки. На характере зоны термического влияния, кроме этого фактора, в значительной мере сказывается распределение температур в зоне реза и скорость охлаждения металла.

Данные термографирования позволяют оценить характер температурного поля при воздушно-дуговой резке. На рис. 46 показано распределение температур при воздушно-дуговой резке чугуна на переменном токе 1200 А и скорости резки 420 мм/мин. По изотермам в плоскости *хоу* видно, что уже на расстоянии 1,5 мм от поверхности реза максимальная температура составляет всего 500° С. По данным термографирования также определяли скорость охлаждения поверхностного слоя металла. Для поверхности реза, нагретой до температуры плавления металла (1150—1180° С), скорость охлаждения составляет 150—210° С/с. В области перлитных превращений (около 700° С) скорость охлаждения несколько ниже, но во всех случаях превышает 50—60° С/с.

При воздушно-дуговой резке до высоких температур нагревается тонкий слой металла на поверхности реза, причем скорости охлаждения этого слоя очень велики. Поэтому изменения структур в зоне реза носят метастабильный характер, связанный с выделением твердых фаз, получение которых нежелательно особенно на поверхностях, подвергаемых последующей механической обработке. Исходя из выявленного распределения температур, можно предположить, что зона структурных изменений по глубине распространения в тело чугуновой отливки невелика. Величина этой зоны в значительной мере зависит от режима резки.

В зоне термического влияния (рис. 47) можно наблюдать два участка: цементитная эвтектика (отбел) толщиной $\sim 0,1$ мм и пере-

Рис. 46. Характер распределения температур при воздушно-дуговой резке чугуна (по данным термографирования) $I = 1200$ А; $\omega_p = 420$ мм/мин



ходные закалочные структуры толщиной $\sim 0,7$ мм. При оптимальных режимах участок отбела может отсутствовать (рис. 47, б). Тогда зона термического влияния представляет собой переходные закалочные структуры, а на поверхности реза можно наблюдать структуру крупноигльчатого мартенсита. На рис. 48 показано изменение твердости в поверхностном слое в обоих рассматриваемых случаях: при наличии участка отбела и без него. Твердость поверхности реза при наличии отбеленного участка составляет *HV* 429 и по мере удаления от поверхности реза уменьшается до *HV* 235 в конце зоны структурных изменений (на расстоянии 0,7—0,9 мм от поверхности реза), где микроструктура представляет собой мелкий перлит с включениями графита. При отсутствии участка отбела твердость поверхности реза составляет *HV* 321.

Основные параметры поверхностной воздушно-дуговой резки, влияющие на глубину зоны структурных изменений: сила тока, интенсивность воздушного дутья, длина вылета электрода, скорость резки и толщина слоя металла, снимаемого за один проход.

Характер изменения глубины зоны структурных превращений (кривая 2) и толщины отбеленного слоя (кривая 1) в зависимости от величины тока (рис. 49, а) примерно одинаков. Первоначально

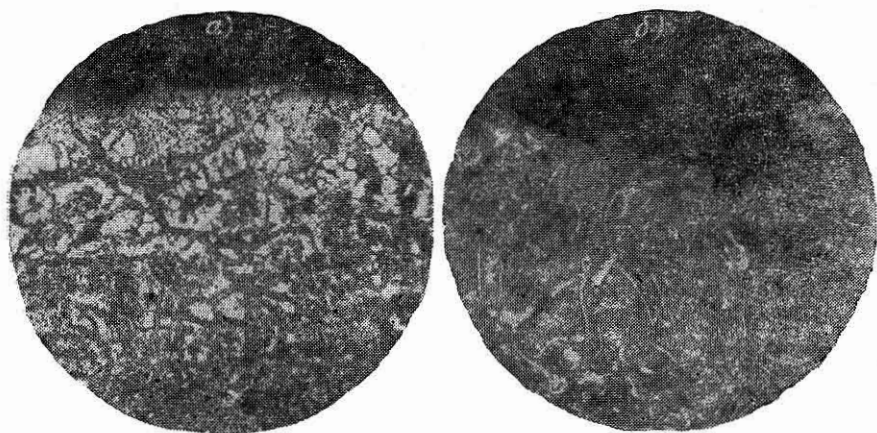


Рис. 47. Микроструктура поверхностного слоя; $\times 100$:

а — $I = 850$ А, $\omega_p = 300$ мм/мин, $p = 4$ кгс/см²; б — $I = 1200$ А, $\omega_p = 300$ мм/мин, $p = 5$ кгс/см²

с увеличением силы тока глубина зоны структурных превращений и соответственно толщина отбеленного слоя уменьшаются и достигают минимальных значений при токе 1100—1300 В. В данном

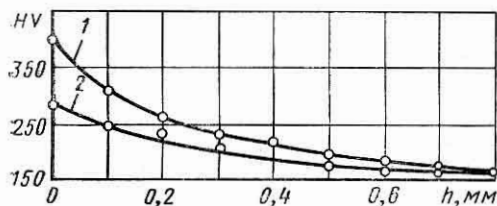


Рис. 48. Распределение твердости в поверхностном слое после воздушно-дуговой резки на переменном токе:

1 — $I = 850$ А; $\omega_p = 300$ мм/мин, $p = 4$ кгс/см²;
2 — $I = 1200$ А, $\omega_p = 300$ мм/мин, $p = 5$ кгс/см²

интервале толщина отбеленного слоя на поверхности реза колеблется в пределах 0,1—0,2 мм, а величина всей зоны структурных изменений — 0,6—0,7 мм. Возрастание толщины отбеленного слоя и глубины всей зоны структурных превращений с дальнейшим увеличением тока может быть объяснено тем, что при сохранении постоянными остальных параметров режима резки увеличивается доля тепловой мощности дугового разряда, затрачиваемая на нагрев основного металла.

Анализируя кривые, приведенные на рис. 49, можно сделать вывод, что минимальные величины толщины отбеленного поверхностного слоя и глубины всей зоны структурных изменений в ос-

новном металле получают при давлениях сжатого воздуха свыше 4 кгс/см^2 . Эту закономерность можно объяснить тем, что при давлении сжатого воздуха менее 4 кгс/см^2 удаление расплавленного металла происходит недостаточно интенсивно, сохраняется возможность существования остаточного слоя жидкого металла, не удаленного из полости реза и затвердевшего на его поверхности.

При давлении воздуха 4 кгс/см^2 интенсивность дутья достигает требуемой величины и обеспечивает полное удаление расплава из зоны реза. Время контакта жидкого металла с поверх-

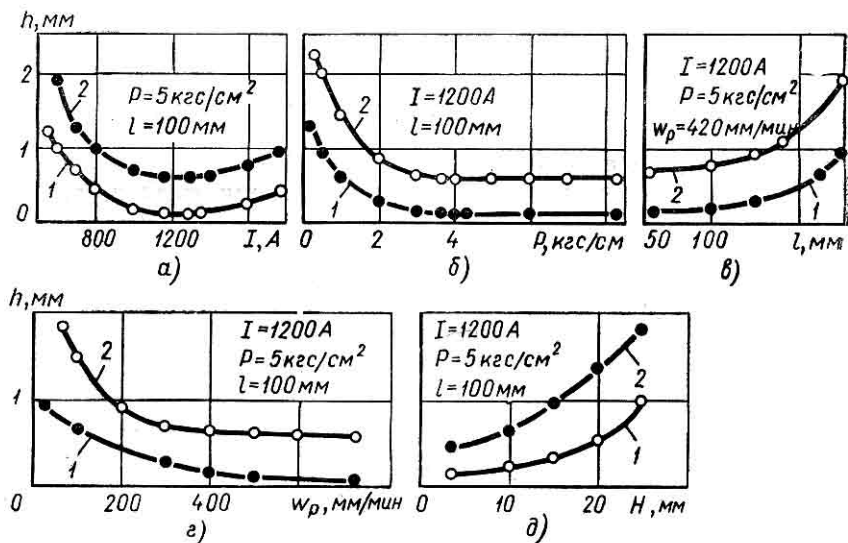


Рис. 49. Размеры зоны термического влияния в зависимости от параметров режима резки:

а — силы тока; б — давления сжатого воздуха; в — расстояния от сопла резака (длины вылетка электрода); г — скорости резки; д — толщины слоя металла, снимаемого за один проход

ностью реза уменьшается, что приводит к снижению толщины отбеленного слоя и глубины зоны структурных изменений в основном металле. Дальнейшее увеличение давления воздуха свыше 4 кгс/см^2 не вызывает соответствующего уменьшения толщины отбеленного слоя и глубины всей зоны структурных изменений, так как жидкий металл полностью удаляется с поверхности реза уже при 4 кгс/см^2 .

С уменьшением длины вылета электрода (рис. 49, в) снижается толщина отбеленного слоя (кривая 1) и глубина всей зоны структурных превращений (кривая 2). Совершенно четко можно рекомендовать поверхностную воздушно-дуговую резку чугуна осуществлять при длине вылета электрода менее 150 мм, особенно на обрабатываемых поверхностях. Выявленная зависимость вполне

объяснима тем, что необходимое давление сжатого воздуха на ванну расплавленного металла обеспечивается при вылете электрода не более 150 мм. При дальнейшем увеличении длины вылета электрода интенсивность выдувания расплавленного металла струей сжатого воздуха оказывается недостаточной и часть жидкого расплава может оставаться на поверхности реза. В результате значительно возрастает толщина отбеленного слоя и соответственно глубина всей зоны структурных изменений.

Скорость резки (рис. 49, *з*) также оказывает влияние на толщину отбеленного слоя (кривая 1) и общую глубину зоны структурных изменений (кривая 2). С увеличением скорости резки обе величины уменьшаются. При увеличении скорости резки горение дуги приобретает более бурный импульсный характер и дуга в меньшей степени зарывается в металл, что влечет за собой перераспределение теплоты: доля теплоты, передаваемая основному металлу, уменьшается.

Толщина слоя металла, снимаемого за один проход, также оказывает существенное влияние на величину зоны структурных изменений в основном металле. Как видно из графика (рис. 49, *д*), увеличение толщины снимаемого слоя металла приводит к возрастанию величины отбела и глубины всей зоны структурных изменений. При удалении за один проход большего по толщине слоя металла дуга углубляется в изделие, и доля теплоты, передаваемая в основной металл, возрастает. Выявленная закономерность имеет большую практическую ценность, особенно при поверхностной воздушно-дуговой резке на обрабатываемых поверхностях.

Следует рекомендовать при выходе на обрабатываемые плоскости отливок удалять лишний металл не в один проход, а в два (при необходимости и более): первым проходом срезать основную массу металла, подлежащего удалению, а затем производить как бы «подчистку», удаляя слой металла толщиной 2—5 мм (до заданного размера отливки). Такой прием позволяет уменьшить толщину отбеленного слоя до 0,05 мм, а общую глубину зоны структурных изменений — до 0,5 мм.

На химический состав металла в поверхностном слое при воздушно-дуговой резке влияет материал электродов, представляющих собой различные модификации углерода, и интенсивный газовый поток (струя сжатого воздуха). В большинстве случаев изменение химического состава поверхностного слоя нежелательно. В литературе отсутствуют данные по химическому воздействию процесса воздушно-дуговой резки на переменном токе на обрабатываемый металл, в том числе на чугун.

Результаты послойного спектрального анализа поверхности резки показали, что при воздушно-дуговой резке чугуна на постоянном токе обратной полярности происходит науглероживание на 0,24% поверхностного слоя реза, глубина которого не превышает 0,1 мм. При воздушно-дуговой резке на постоянном токе

обратной полярности стали Ст3 (рис. 50) науглероженного слоя меньше — порядка 0,05 мм и повышение содержания углерода не более 0,19%.

Послойный химический анализ и качественный анализ на микрозонде «Камека» подтвердили, что при воздушно-дуговой резке чугуна на постоянном токе обратной полярности наблюдается науглероживание. Значительно меньшая абсолютная величина этого науглероживания, зафиксированная химическим анализом, подтверждает, что науглероживание происходит на незначительную глубину. Так как при выполнении указанных анализов снимали слои толщиной 0,2 мм, то, естественно, поверхностный слой толщиной 0,05—0,1 мм с повышенным содержанием углерода разбавлялся металлом более глубоких слоев. Отсюда и понижение абсолютных показателей по углероду.

При воздушно-дуговой резке чугуна и стали на постоянном токе прямой полярности науглероживание также обнаруживается, но несколько в меньшей мере, чем при работе на обратной полярности. Аналогичные зависимости по распределению углерода в поверхностном слое получены при воздушно-дуговой резке от сварочного выпрямителя ВДМ-1601.

Иная картина наблюдается при осуществлении воздушно-дуговой резки чугуна и стали на переменном токе. Науглероживания поверхностного слоя не происходит, что подтверждается как спектральным (табл. 47), так и химическим анализом (табл. 48)

Механизм воздействия воздушно-дуговой резки на содержание углерода в поверхностном слое реза следует рассматривать как многофакторный, определяемый перемещением положительных ионов углерода от анода (электрода) к катоду (изделию), испарением материала стержня при разогреве торца электрода до высокой температуры (свыше 3600°C) и увлечением паров углерода в расплавленный металл; интенсивным эрозионным износом электрода с механическим внедрением в поверхность реза мельчайших его частиц и, наконец, науглероживанием при касании металла электродом из углеродистых материалов.

При горении дуги С—Fe переменного тока без наличия интенсивного потока воздуха расплавленный металл науглероживается (рис. 50). Величина науглероживания как для стали (кривая 1), так и для чугуна (кривая 2) с течением времени возрастает, но скорость этого возрастания с увеличением времени уменьшается, что свидетельствует о замедлении диффузионного процесса,

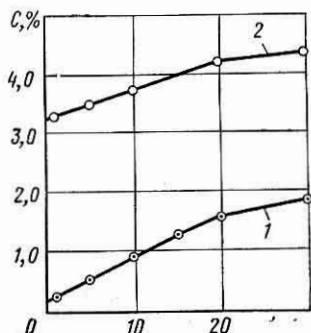


Рис. 50. Науглероживание расплавленного металла угольной дугой:

1 — Ст3; 2 — чугун СЧ 28-48

Т а б л и ц а 47. Распределение углерода в поверхностном слое при воздушно-дуговой резке чугуна и стали (данные спектрального анализа через 0,05 мм)

Марка металла	Источник питания	Полярность	Содержание углерода (%) в слоях								Основной металл			
			Поверхность	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7		№ 8		
СЧ 28-48	Два преобразователя ПСМ-1000, соединенных параллельно	Обратная	3,44	3,32	3,20	3,19	3,21	3,19	3,20	3,19	3,20	3,20	3,20	
Ст3			0,34	0,24	0,22	0,20	0,21	0,20	0,20	0,20	0,23	0,21	0,21	0,21
СЧ 28-48	То же	Прямая	3,42	3,31	3,30	3,28	3,29	3,30	3,29	3,30	3,29	3,30	3,29	3,30
Ст3			0,33	0,24	0,23	0,24	0,24	0,23	0,24	0,23	0,24	0,23	0,23	0,23
СЧ 28-48	Выпрямитель ВДМ-1601	Обратная	3,42	3,30	3,11	3,10	3,11	3,12	3,10	3,10	3,10	3,11	3,10	3,10
Ст3			0,32	0,21	0,23	0,23	0,23	0,23	0,24	0,24	0,24	0,24	0,23	0,23
СЧ 28-48		Прямая	3,38	3,29	3,27	3,26	3,27	3,27	3,27	3,26	3,27	3,26	3,27	3,26
Ст3			0,30	0,24	0,23	0,23	0,23	0,24	0,22	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
СЧ 28-48	Трансформатор ТСД-2000		3,09	3,09	3,14	3,15	3,15	3,16	3,15	3,16	3,15	3,14	3,15	3,15
Ст3			0,24	0,24	0,23	0,24	0,24	0,24	0,23	0,23	0,23	0,23	0,20	0,24
СЧ 28-48	Трансформатор с жесткой внешней характеристикой		3,10	3,12	3,11	3,14	3,12	3,12	3,12	3,12	3,13	3,12	3,13	3,12
Ст3			0,23	0,20	0,19	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,19	0,19	0,19	0,20

так как с уменьшением разницы в концентрации коэффициент диффузии, характеризующий скорость протекания диффузионного процесса, также уменьшается.

Т а б л и ц а 48. Распределение углерода в чугуне СЧ 28-48 после воздушно-дуговой резки на токе 1200 А (химический послыйный анализ через 0,2 мм)

№ слоя	Источник питания	Содержание углерода, %	
		Обратная полярность	Прямая полярность
1, 2, основной металл	Трансформатор ТСД-2000	3,30	
1 2 Основной металл	Выпрямитель ВДМ-1601	3,34 3,29 3,30	3,33 3,30 3,30
1 2 Основной металл	Два преобразователя ПСМ-1000, соединенных параллельно	3,35 3,32 3,32	3,34 3,31 3,32

Науглероживание в чугуне происходит медленнее, чем в низкоуглеродистой стали. При среднем увеличении за 30 с переплава графитированным электродом содержания углерода в чугуне на 1,07%, в стали за это же время наблюдается науглероживание на 1,69%, т. е. при переменном токе в дуге С—Fe также происходит науглероживание расплавленного металла. Однако оно значительно меньше, чем при постоянном токе обратной полярности.

К. К. Хренов указывает, что науглероживание при сварке низкоуглеродистой стали угольной дугой при ручной дуговой сварке, когда время существования расплавленной ванны не превышает 5 с, происходит на 0,8%. В нашем случае науглероживание за 5 с увеличило содержание углерода только на 0,405%, т. е. почти в 2 раза меньше. Этот фактор, по всей вероятности, и способствует получению ненауглероженной поверхности реза при работе на переменном токе. Кроме того, повышенная подвижность ванны расплавленного металла при применении дуги переменного тока также способствует более быстрому удалению расплава, насыщенного углеродом, с поверхности реза. Время контакта расплава с основным металлом уменьшается.

Влияние подвижности ванны, с которой связано время контакта расплава с основным металлом, на процесс науглероживания поверхности реза подтверждается данными экспериментов воздушно-дуговой резки стали и чугуна на постоянном токе обратной полярности. При воздушно-дуговой резке на постоянном токе обратной полярности получено науглероживание поверхности реза: сталь Ст3 — на 0,11—0,19%, сталь 20 — на 0,13%,

чугун СЧ 28-48 — на 0,15—0,24%, т. е. в большей степени процесс науглероживания проявил себя на чугуне.

В низкоуглеродистой стали ввиду пониженного содержания углерода условия для протекания диффузионных процессов лучшие и насыщение углеродом поверхности реза должно было бы быть больше, чем у чугуна. Однако при воздушно-дуговой резке чугуна на постоянном токе обратной полярности удаление расплава затруднено из-за высокого содержания кремния,

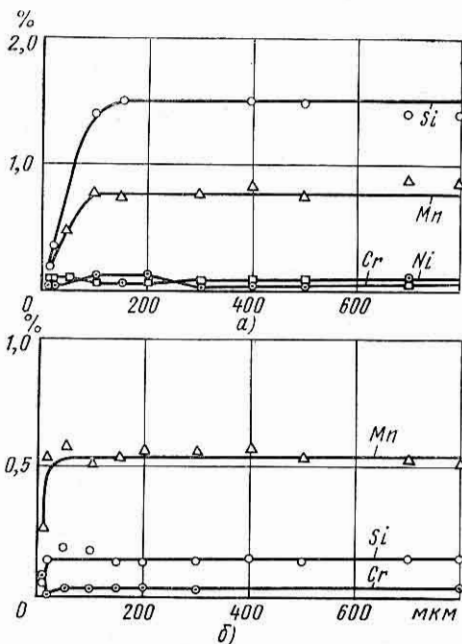


Рис. 51. Распределение некоторых легирующих элементов в поверхностном слое (по данным микрорентгеноспектрального анализа):

а — чугун СЧ 28-48; б — сталь Ст3

образующего малоподвижные тугоплавкие шлаки. Поэтому температура перегрева ванны и время контакта расплава с поверхностью реза больше, больше вероятность сохранения на поверхности реза тонкой пленки расплавленного металла, т. е. неполное удаление расплава воздушной струей. Следовательно, меньшая, чем у стали, подвижность ванны при воздушно-дуговой резке чугуна на постоянном токе обратной полярности приводит к большему науглероживанию поверхности реза. Этим же фактором объясняется и несколько большая глубина науглероженного слоя.

Отсутствие науглероживания поверхностного слоя при воздушно-дуговой резке на переменном токе объясняется тремя основными факторами: меньшей, почти в 2 раза, науглероживающей способностью угольной дуги переменного тока по сравнению с дугой постоянного тока обратной полярности; кратковременностью контакта расплавленного металла с изделием (2—3 мс); окисляющим воздействием струи сжатого воздуха.

Окисляющее воздействие интенсивного потока сжатого воздуха, удаляющего расплавленный металл из полости реза, сказывается также на распределении некоторых легирующих элементов в поверхностном слое реза. Так, например, микрорентгеноспектральным анализом обнаружено, что кремний и марганец выгорают с поверхности на глубину до 0,1 мм (рис. 51) при воздушно-дуговой резке чугуна и стали. Выгорания хрома и никеля

не обнаружено. Контрольные исследования кооррозионно-стойкой стали типа 12X18H9T подтвердили практическое отсутствие выгорания хрома и никеля. Выгорание кремния и марганца на незначительную глубину не опасно, так как этот слой практически снимается при зачистке шлифовальными машинками под окраску.

Глава XII

Технология воздушно-дуговой резки

На обрубных участках литейных цехов с поверхностями отливок удаляют остатки литниковой системы, приливы, заусенцы, заливы, перекосы, разные неровности, пригары формовочной и стержневой смесей. Часто приходится удалять пороки на отливках для исправления их заваркой. Причем все эти элементы расположены на отливках в самых различных местах: на наружных поверхностях, внутри отливок, в окнах, в легко- и труднодоступных полостях, на обрабатываемых и необрабатываемых поверхностях. Отливки в зависимости от назначения могут проходить и не проходить термообработку.

Все это обуславливает специфику применения воздушно-дуговой резки на обрубных операциях. Воздушно-дуговую резку при обрубке отливок можно применять как поверхностную, так и разделительную. В первом случае — для срезки заливок, выравнивания перекосов, электрострожки различных неровностей на поверхности отливок, удаления металлоземляных пригаров, разделки дефектов под заварку; во втором — для вырезки залитых окон, надрезки прибылей и пр. Указанные работы наиболее трудоемки при обрубке крупных и тяжелых отливок. Воздушно-дуговая резка позволяет значительно сократить долю физического труда обрубщиков.

Воздушно-дуговую резку можно осуществлять на том же месте, где обрубку. Подготовка деталей к обработке воздушно-дуговой резкой заключается в промыве отливок в гидрокамере. Если в местах, подлежащих воздушно-дуговой резке, наблюдаются остатки земли и земляных пригаров, их также следует удалить. Отливку устанавливают на пол участка, армированного рельсами, выполняющими роль сварочного заземления. При необходимости отливки обдувают сжатым воздухом.

Требования, предъявляемые к качеству резки, высокие, так как поверхность реза по чистоте должна соответствовать чистоте поверхности отливки.

Круглые электроды для применения на обрубных операциях не приемлемы, так как они оставляют канавку цилиндрической формы. При обработке поверхности отливки параллельными проходами с помощью круглых электродов остаются гребешки, которые приходится удалять механическим путем. Ровную поверхность можно получить только при применении электродов прямоуголь-

ного сечения. Большую сторону поперечного сечения располагают перпендикулярно направлению поверхностной воздушно-дуговой резки (строжки), выполняемой углом вперед при подаче струи сжатого воздуха параллельно боковой поверхности электрода.

В процессе удаления излишков металла с поверхности отливок необходимо стремиться к получению минимальной зоны структурных изменений, что особенно важно, если поверхность, подвергнутая воздушно-дуговой резке, в последующем обрабатывается механическими способами. Отсюда вытекает требование четко выдерживать режимы и правильно осуществлять технические приемы резки.

Процесс резки следует начинать с проверки режимов, для чего перед началом зажигания дуги необходимо включить воздух, легким прикосновением электрода к детали зажечь дугу и сделать пробный рез с целью регулировки тока и контроля качества реза. Расплавленный металл должен полностью удаляться из зоны дуги. Наличие застывшего расплава на поверхности реза свидетельствует о недостаточной интенсивности воздушного дутья, что ни в коем случае не допустимо, так как при этом значительно увеличивается глубина зоны повышенной твердости, препятствующей последующей механической обработке. Угол наклона электрода относительно детали следует выдерживать в пределах $30\text{--}60^\circ$. В этом случае наблюдается наиболее полное удаление продуктов расплава из зоны реза.

При снятии тонких слоев ($3\text{--}5$ мм) удобнее работать при угле наклона $15\text{--}30^\circ$ без ущерба интенсивности удаления расплавленного металла. Толщина срезаемого за один проход металла определяется характером срезаемого литейного элемента. Однако максимальный слой металла, срезаемого за один проход, не должен превышать по величине толщину применяемого электрода. Очень часто при удалении литейных элементов, особенно заливо, резку приходится начинать с кромки или выступающих частей. В этих случаях резаку следует придавать положение, при котором струя воздуха не отсекалась бы кромкой, попадала в зону дуги.

Необходимо следить за давлением воздуха в сети, полное удаление расплава из полости реза обеспечивается при $p \geq 4$ кгс/см². При удалении литников и выпоров на чугунных отливках их необходимо подрезать по контуру в месте сопряжения с деталью. Тем самым предупреждаются сколы при последующем их отбивании. Весьма распространена операция срезки различных наростов, выравнивание перекосов, когда приходится удалять металл со значительной площади. Выравнивать такие поверхности следует последовательно, слоями, для чего параллельно первому проходу делать второй, третий и т. д., до полного выравнивания поверхности.

Не менее трудоемкая операция — удаление пригаров (наростов). Чем больше смеси в составе пригара, тем труднее его

удалять. Удовлетворительно удаляются наросты, содержащие 30% металла и больше. Их удается срезать заподлицо с поверхностью отливки. Резку следует проводить послойно.

В местах скопления смеси, затрудняющей воздушно-дуговой процесс, необходимо периодическое обстукивание зубилом с целью удаления смеси и шлака. При срезе приливов с малым содержанием металла нужно непрерывно выполнять поступательные и боковые движения электродом с целью отыскания островков металлической основы.

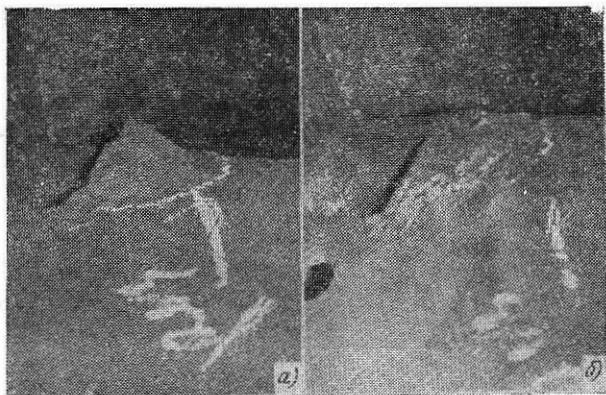


Рис. 52. Пригары;

a — до резки; *б* — после резки

Удаление пригаров возможно только при высокой стабильности процесса воздушно-дуговой резки, т. е. при повышенных токовых режимах (1300—1500 А) и достаточном напряжении холостого хода. Поэтому пригары особенно трудно удалять при использовании трансформаторов ТСД-1000, СТН, ТС и др. Удовлетворительно удаляются пригары при использовании трансформаторов ТСД-2000, которые обеспечивают необходимые параметры процесса как по току, так и по напряжению (рис. 52). Поверхностные пригары смеси приходится удалять вместе с тонким слоем основного металла толщиной 2—3 мм.

Весьма распространенный элемент, удаляемый воздушно-дуговой резкой, — заливки, разнообразные по форме, месту расположения, содержанию включений стержневой или формовочной смесей.

При срезке литников, приливов, выпоров на обрабатываемых поверхностях воздушно-дуговую резку следует выполнять при первоначальном вылете электрода не более 120 мм. Для уменьшения глубины зоны повышенной твердости последним проходом

необходимо снимать слой не более 5 мм. При применении воздушно-дуговой резки на обрабатываемых поверхностях необходим контроль твердости или проверка на обрабатываемость подружкой зубилом. При внедрении процесса воздушно-дуговой резки на обрубно-очистных операциях объем резки на обрабатываемых поверхностях следует ограничивать и занимать поверхность реза на 0,3—0,5 мм абразивными кругами.

Нарушение технологии резки может привести к поломке инструмента.

Иногда из-за смещения модели, модельной плиты, стержней или каким-то другим причинам наблюдается значительный сдвиг

в отливке, неправильное размещение так называемых карманов и т. п. В связи с этим необходимо удалить большое количество металла в тупиковой полости. Если смещение велико, то обычно глубоким сверлением выполняют ряд отверстий по контуру удаляемого участка, затем разделительной воздушно-дуговой резкой разрезают оставшиеся перемычки, подрезают металл с донной части и удаляют вырезанный кусок металла. После этого выравнивают стенку (или стенки) полости

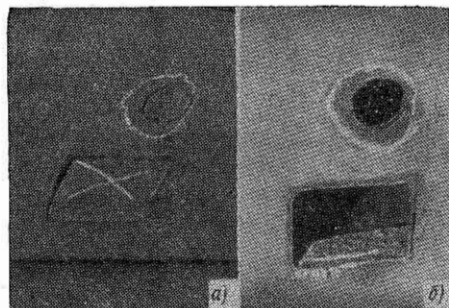


Рис. 53. Залитые окна круглой и прямоугольной формы:

а — до резки; б — после резки

поверхностной воздушно-дуговой резкой. Таким образом, резко уменьшается объем механической обработки, так как вместо фрезерования используют воздушно-дуговую резку.

Также снижается объем механической обработки за счет вырезки воздушно-дуговой резкой полностью залитых окон (рис. 53). Значительный объем работ при производстве отливок представляет разделка дефектов под заварку. Обычно дефекты в чугунных отливках вырубают с помощью пневмозубила, либо удаляют на станках (высверливанием, фрезерованием и т. д.). Эти процессы трудоемки, зачастую связаны с транспортировкой деталей. Применение воздушно-дуговой резки для разделки дефектов под заварку способствует повышению производительности труда и разгружает станочный парк.

Обычные угольные электроды, применяемые для воздушно-дуговой резки металла, нестойки и быстро сгорают. Например, электроды, выпускаемые по ГОСТ 10720—75 (при длине электрода 250 мм, диаметре 8 мм и рабочем токе 400 А), сгорают в течение 50—60 с. Недостатки этих электродов: повышенный расход электроэнергии вследствие значительного падения электрической мощ-

ности на стержне электрода и изменение размеров рабочего торца электродов в процессе резки вследствие эрозионного износа стержня воздушной струей. Это приводит к изменению размеров выплавляемых канавок, которые становятся более узкими и менее глубокими.

Предложена рецептура и технология изготовления омедненных электродов для воздушно-дуговой резки. В. И. Рыбаков и П. С. Карпеченко утверждают, что омеднение угольных электродов повышает их стойкость всего на 20%. Более стойки графитированные электроды марок А, Н8, 355, 180. Их стойкость при поверхностной воздушно-дуговой резке низкоуглеродистой стали в 2 раза выше, чем у стандартных угольных электродов.

Киёкана Садаити, Сирасэ Кэйго, Нида Рикио предложили электроды для дуговой резки с покрытием из смеси меди и алюминия, которое наносят путем одновременной металлизации меди и алюминия на поверхность электрода. Это покрытие снижает электросопротивление и предохраняет в определенной мере от повреждения поверхности электродов в результате взаимодействия с воздухом.

Стоимость электродов составляет ~50% общей стоимости процесса. Некоторые зарубежные исследователи указывают на более высокое значение этой цифры. Так, по мнению Гнездила, на стоимость электродов приходится около 80% общей стоимости процесса. Кроме того, изменение сечения электрода не только увеличивает расход электродов, который составляет свыше половины всех затрат при использовании воздушно-дуговой резки, но и нарушает режим протекания процесса, что сказывается на качестве реза. Отсюда важность создания электродов повышенной стойкости.

Расход электродов при воздушно-дуговой резке обусловлен двумя основными факторами: выделением теплоты на торцевой поверхности электрода и окислением и эрозионным износом боковой поверхности стержня воздушной струей.

В результате воздействия теплоты дуги происходит сублимация материала электрода с торца и электрод укорачивается (сгорает по длине). Окисление и воздушная эрозия приводят к заострению конца электрода. Так как сублимация материала элек-

$w, \text{г/см}^2 \cdot \text{мин}$

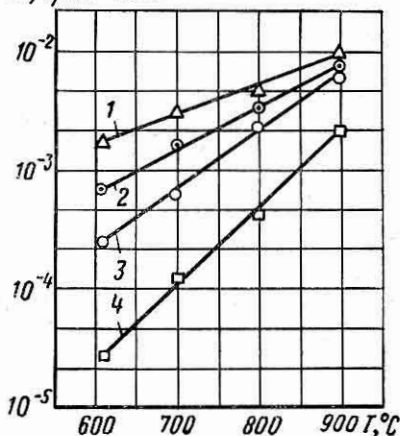


Рис. 54. Зависимость окисления графитовых материалов различных марок от температуры (на воздухе):

1 — АРВ; 2 — ЭГО (ГМЗ); 3 — ВПП; 4 — ПГ (пирографит)

трода происходит практически за счет теплоты, выделяемой в активном пятне на торце электрода, то интенсивность сгорания электрода определяется в основном плотностью тока в электроде. Разновидность углеродистого материала, его плотность, зернистость также сказываются на сгорании электрода, но в меньшей мере. Это подтверждается экспериментальными данными В. И. Рыбакова и П. С. Карпеченко, приведенными ниже:

Марка электрода	Расход электродов при токе 360 А на сгорание с торцовой части электрода, г/А·ч	Марка электрода	Расход электродов при токе 360 А на сгорание с торцовой части электрода, г/А·ч
Угли сварочные	1,73	355	1,30
Угли сварочные омедненные	1,70	А	1,22
И8 (500)	1,34	И8 (1000)	1,18

При применении более плотных и мелкозернистых графитированных материалов интенсивность сгорания снижается по сравнению с углями сварочными до 47%, но для самих же графитированных электродов колебания менее значительны (1,18—1,34 г/А·ч). Окисление с боковой поверхности и эрозионный износ воздушной струей зависят от температуры нагрева электрода — в основном за счет прохождения тока по его вылету из электрододержателя и теплопередачи из активного пятна.

При воздушно-дуговой резке заливок, приливов и других элементов отливок принято оптимальным считать применение графитированных электродов сечением 15×25 мм при рабочих токах 1000—1300 А. Как показали замеры вольфрамоморениевой термпарой, такой электрод накаляется до температур 1000—1200° С. Скорости окисления графитированных материалов с различной плотностью имеют тенденцию с повышением температуры сближаться и при температуре 900° С практически скорость окисления не зависит от плотности графита и изменяется по общему закону (рис. 54). Исключение составляет пирографит. Следовательно, применение для воздушно-дуговой резки плотных мелкозернистых графитов нецелесообразно.

Защита боковой поверхности электрода от окисления и эрозионного износа — более рациональный путь по сравнению с совершенствованием самого материала электрода. Защитные покрытия должны удовлетворять определенным требованиям.

Медное покрытие эффективно только при работе на малых токах, когда электрод нагревается до температуры 400—600° С не более. Подобный нагрев не вызывает отслаивания покрытия и не приводит к его расплавлению. При работе на больших токах,

свыше 1000 А, когда электрод накаляется до температуры 1200° С, медное покрытие начинает плавиться и стекает в зону реза. Рез получается омедненным золотистого цвета. В этом случае медное покрытие не выполняет никаких защитных функций, а вызывает засорение медью основного металла. Следовательно, медное покрытие непригодно из-за низкой температуры плавления, которая не превышает температуру нагрева электрода. По этой же причине непригодно медно-алюминиевое покрытие.

Покрытие из стали имеет температуру выше, чем температура нагрева электрода, однако оно недостаточно стойко против окисления при высокой температуре, поэтому интенсивно окисляется потоком воздуха и быстро сгорает.

Пирографитовое покрытие не плавится и достаточно стойко против окисления на воздухе при высокой температуре, но оно растрескивается, в трещины попадает воздух и окисляет материал электрода.

Защитные обмазки (циркониевая, магнезитовая, корундовая) также не дали положительных результатов. При нагреве до высоких температур они начинают отслаиваться и отваливаются кусками, т. е. нарушается их механическая прочность и сцепляемость с материалом электрода. Они имеют низкую электропроводность, в результате чего не обеспечивается надежный контакт в губках и последние подгорают, а при непрерывной работе в течение нескольких минут губки вообще расплавляются.

Немаловажную роль играет газовая проницаемость покрытия. При недостаточной газовой плотности покрытия воздух проникает через покрытие и окисляет материал электрода под покрытием, что снижает срок службы электрода.

На основании изложенного можно сформулировать основные требования к покрытиям электродов: температура плавления покрытия должна значительно превышать температуру нагрева электрода (1000—1200° С); покрытие должно обладать достаточной стойкостью против окисления на воздухе при высокой температуре; технология нанесения покрытия должна обеспечивать хорошую сцепляемость с поверхностью электрода; покрытие не должно растрескиваться и отслаиваться при высоких температурах; покрытие не должно пропускать воздух в течение всего времени работы электрода; электропроводимость покрытия должна быть не ниже электропроводимости материала электрода.

Разработанные для воздушно-дуговой резки электроды с покрытием из смесей окиси алюминия с чистым алюминием обеспечивают устойчивую работу на токах свыше 1000 А. Защитное покрытие из указанной смеси наносят методом плазменной металлизации. Плазмообразующим газом служит смесь аргона с водородом. Для напыления используют порошки, перемешанные в шаровой мельнице в течение 6—10 ч. Режим напыления, обеспечивающий наилучшее проплавление частиц в плазме: сила тока 250—

300 А; напряжение дуги 80—95 В; расход аргона 2,5—3 м³/ч, количество водорода в плазмообразующем газе 10—12%; расстояние то торца сопла до напыляемой поверхности 100—130 мм.

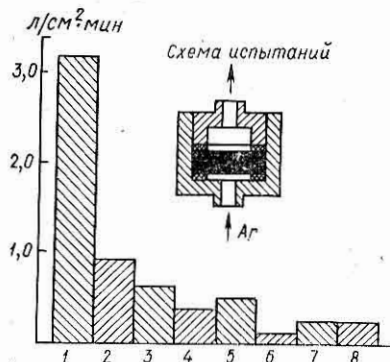


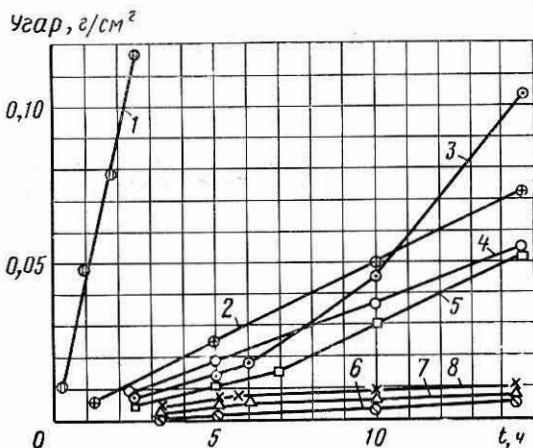
Рис. 55. Диаграмма зависимости газопроницаемости образцов из графита марки ГМЗ от состава покрытия:

1 — без покрытия; 2 — из окиси алюминия; 3 — из меди; 4 — из стали Ст3; 5 — из алюминия; 6 — из смеси 90% Al₂O₃ + 10% Al; 7 — из смеси 70% Al₂O₃ + 30% Al; 8 — из смеси 50% Al₂O₃ + 50% Al

лечения на воздухе в муфельной печи при температуре 950° С и оценивали изменением массы образца, отнесенной к единице поверхности. При окислении в течение 12 ч графитовый образец В-1

Рис. 56. Кинетические кривые окисления на воздухе образцов из графита марки ГМЗ при температуре 950° С:

1 — без покрытия; 2 — из окиси алюминия; 3 — из меди; 4 — из стали Ст3; 5 — из алюминия; 6 — из смеси 90% Al₂O₃ + 10% Al; 7 — из смеси 70% Al₂O₃ + 30% Al; 8 — из смеси 50% Al₂O₃ + 50% Al



имеет угар 0,445 г/см², при более длительных выдержках (до 18 ч) образец рассыпается в порошок. Графитовые образцы марки ГМЗ сгорали полностью после 4 ч испытаний. Защита графита

покрытием из окиси алюминия существенно снижает угар (после 12-часовой выдержки угар $0,06 \text{ г/см}^2$).

Защитные свойства металлических покрытий (стальное, медное, алюминиевое) неудовлетворительны. Защитные свойства покрытия зависят от способа нанесения покрытия. Так, для алюминиевого покрытия, полученного методом электродуговой металлизации, при выдержке 12 ч угар составил $0,042 \text{ г/см}^2$, при нанесении этого же покрытия плазменным напылением — $0,009 \text{ г/см}^2$. Плазменный метод обеспечил наиболее плотное покрытие, при электродуговой металлизации наблюдается повышенная пористость.

Наилучшими защитными свойствами при условии работы на повышенных токах обладает покрытие, имеющее одновременно низкую газопроницаемость, низкую окисляемость и высокую термостойкость. С этой точки зрения принято покрытие из смеси окиси алюминия с алюминием. Окись алюминия обладает высокой термостойкостью, но одновременно характеризуется и значительной газопроницаемостью. Добавка алюминия снижает газопроницаемость и повышает соответственно окислительную стойкость покрытия. При добавлении в покрытие 10% Al газопроницаемость уменьшается в 35—40 раз, окислительная стойкость увеличивается в 15 раз.

Добавка алюминия резко снижает электросопротивление покрытия. Если удельное электросопротивление покрытия из окиси алюминия составляет 10^{12} — $10^{13} \text{ Ом}\cdot\text{см}$, то для покрытия из смеси 90% Al_2O_3 + 10% Al оно равно 10—20 Ом·см и для смеси 70% Al_2O_3 + 30% Al — 4—6 Ом·см. Вследствие относительно малого времени работы электрода (менее 20 мин непрерывного горения дуги) снижение термостойкости покрытия из окиси алюминия при увеличении содержания в нем до 50% Al не сказывается на работоспособности изделия.

При воздушно-дуговой резке графитированными электродами диаметром 20 мм с различными покрытиями, нанесенными методом плазменного напыления (рис. 57), графитированный электрод интенсивно окисляется струей сжатого воздуха и приобретает заостренный вид (1); аналогично поведение электрода с покрытием из стали (2). Покрытие сохраняется только в месте зажима электрода губками держателя.

Медное покрытие (3) при первоначальном вылете 105 мм более устойчиво чем стальное, но с течением времени также нарушается и не защищает электрод от окисления.

Покрытия из алюминия (6) и смеси алюминия с окисью алюминия (4 и 5) при оптимальных вылетах электрода (100—120 мм) оказываются устойчивыми и надежно защищают электрод от окисления. В результате резко снижается интенсивность сгорания электрода, характеризуемая коэффициентом сгорания $k_{\text{сг}}$, и повышается эффективность использования материала электрода $k_{\text{эф}}$.

Большинство применяемых в промышленности конструкций электродержателей для воздушно-дуговой резки не обеспечивает регулировку вылета электрода, поэтому важна оценка стойкости электродов при максимальном вылете (порядка 250 мм). В табл. 49 приведены данные по электродам с покрытием из алюминия, а также окиси алюминия с добавкой алюминия, показавшим удовлетворительные результаты при работе на оптимальных вылетах электрода. Покрытие из алюминия при значительном вылете электрода (свыше 200 мм) нагревается до температуры плавления, плавится

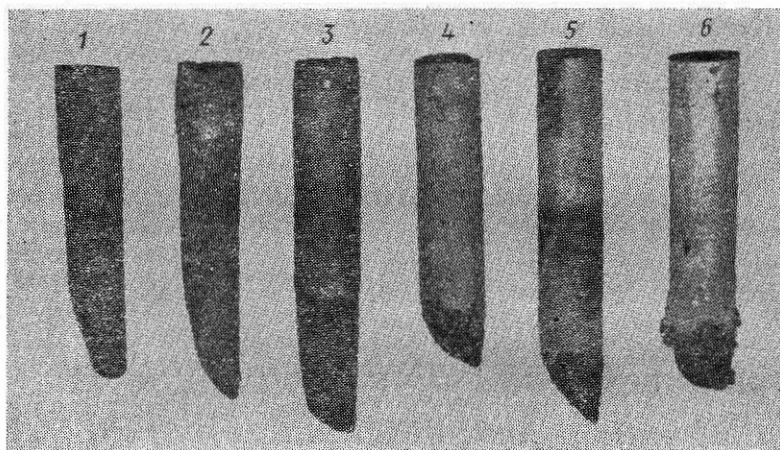


Рис. 57. Внешний вид огарков круглых электродов:

1 — без покрытия; 2 — с покрытием из СтЗ; 3 — с покрытием из меди; 4 — с покрытием из смеси 70% Al_2O_3 + 30% Al; 5 — с покрытием из смеси 50% Al_2O_3 + 50% Al; 6 — с покрытием из алюминия

и стекает тонкой струйкой в зону реза. Электрод обнажается и начинает окисляться аналогично непокрытому графитированному электроду. Расход электродов без покрытия снижается, что объясняется более жесткими условиями работы электрода при большом вылете.

Покрытие из окиси алюминия с добавкой алюминия сохраняется до конца работы электрода с первоначальным вылетом свыше 200 мм без видимых нарушений целостности покрытия и надежно защищает электрод от окисления струей сжатого воздуха. Зафиксированы положительные результаты по расходу электродов. Нанесение покрытия состава 50% Al_2O_3 + 50% Al на круглые графитированные электроды повышает их стойкость и эффективность использования примерно в 3 раза.

На обрубных участках в литейных цехах требуется применение плоских электродов. Электроды марки ЭГ-0 прямоугольного се-

Т а б л и ц а 49. Результаты испытаний графитированных электродов диаметром 20 мм с защитным покрытием, нанесенным методом плазменного напыления

Покрытие	Электроды			Вылет до начала резки, мм	Масса образцов,		Время резки, с	Коэффициент сгорания, г/А·ч	Эффективный коэффициент использования электрода**, г/г
	Толщина покрытия, мм	Масса, г			до резки	после резки			
		до резки	после резки	до резки			после резки		
Без покрытия	—	65	40	95	3795	3680	132	0,54	24,8
Ст3	0,60	76	45	110	3880	3410	179	0,52	20,0
Медь	0,50	98	70	105	3820	3235	108	0,78	21,0
Алюминий:	0,80	75	60	112	3875	3700	152	0,30	52,0
70% Al ₂ O ₃ + 30% Al	0,25	70	50	105	3790	3610	217	0,28	50,8
50% Al ₂ O ₃ + 50% Al	0,25	70	60	110	3875	3390	154	0,20	66,0
Без покрытия	—	147	35	240	6425	5195	365	0,92	11,0
Алюминий	0,80	170	105	253	6505	5235	305	0,64	19,4
50% Al ₂ O ₃ + 50% Al	0,25	146	117	237	6300	4755	304	0,25	52,3

* Коэффициент, учитывающий количество материала электрода (в граммах), сгоревшего в течение 1 ч при прохождении через электрод тока в 1А.

** Коэффициент, учитывающий количество металла (в граммах), выплавленное 1 г электрода.

чения 15×25 мм испытывали при силе тока 1100—1200 А. Покрытие из окиси алюминия с добавкой алюминия начинает нарушаться после первых четырех минут горения дуги. Разрушение покрытия наблюдается на острых углах электрода. Вначале возникают трещины на углах. Воздух, попадая в эти трещины, окисляет материал электрода и как бы вымывает графит из-под покрытия, покрытие постепенно с углов отслаивается и теряет свои защитные свойства. Избежать это явление удастся путем снятия острых углов как концентраторов напряжения, вызывающих растрескивание покрытия. Покрытие, напыленное на электроды со скругленными углами, в процессе работы не нарушается и не отслаивается.

Выбор оптимальной толщины покрытия электрода важен с экономической точки зрения. Чем меньше толщина покрытия, тем меньше расход напыляемых материалов и меньше затраты времени на нанесение покрытия на электрод, а следовательно, и дешевле сам электрод. В то же время покрытие должно иметь толщину, обеспечивающую необходимую его плотность, и надежно защищать боковую поверхность электрода от воздействия воздушной струи. Надежную защиту электрода обеспечивает покрытие толщиной 0,1 мм и выше. Удовлетворительные защитные свойства относительно тонкого покрытия (0,1—0,2 мм) объясняются сравнительно малым временем работы электрода (15—20 мин). В этих условиях окислительная и термическая стойкость покрытия сохраняется (табл. 50).

Таблица 50. Результаты испытаний графитированных электродов марки ГМЗ прямоугольного сечения 15×25 мм

Сила тока, А	Масса электрода, г		Время резки, с	Сила тока, А	Масса электрода, г		Время резки, с
	до резки	после резки			до резки	после резки	
Без покрытия				С покрытием состава 50% Al_2O_3 + 50% Al			
700	147	65	1413	700	140	50	1903
800	138	61	433	900	145	86	1020
900	140	82	247	1100	140	50	1091
1100	145	70	240	1200	140	55	821
1200	136	68	189	1300	137	100	348
1300	142	70	190	1400	143	95	412
1400	140	65	176	1600	138	65	530
1600	137	60	158				

Часовой расход электродов с защитным покрытием значительно меньше, чем расход электродов без покрытия (рис. 58). Увеличение расхода покрытых электродов с увеличением силы тока происходит менее резко, чем расход непокрытых электродов, т. е. эффективность применения защитного покрытия возрастает при работе на повышенной силе тока. Кривые коэффициента расхода

электродов также имеют расходящийся характер, что подтверждает сделанный вывод (рис. 58).

Покрытие состава 50% Al_2O_3 + 50% Al полностью защищает электрод от окисления с боковой поверхности и эрозии, вызываемой потоком воздуха. При применении графитированных электродов без защитного покрытия электрод интенсивно заостряется в результате окисления и воздушной эрозии боковой поверхности (рис. 59), особенно при работе на повышенных силах тока (свыше 1000 А), когда поверхность электрода накаляется до температуры 1000—1200° С. При меньших токах электрод нагревается не до

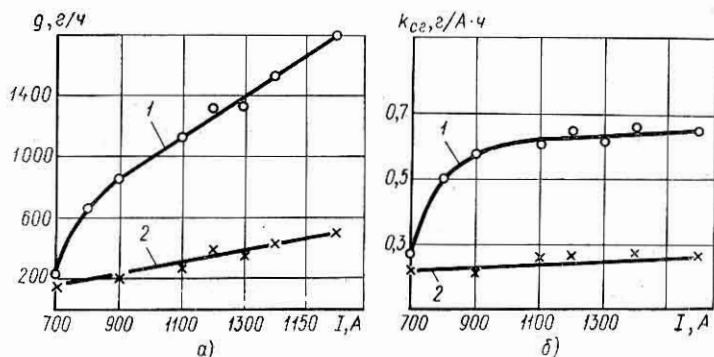


Рис. 58. Зависимость часового расхода g электродов и коэффициента расхода k_{cg} электродов от величины тока:

1 — для электродов без покрытия; 2 — для электродов с защитным покрытием

таких высоких температур и поверхностный износ его поэтому не столь интенсивен.

При применении электродов с защитным покрытием разработанного состава заострения электрода на конус не наблюдается (рис. 60). Износ электрода происходит практически только с его торцевой поверхности, т. е. за счет сублимации материала электрода. Например, для силы тока 1100 А коэффициент сгорания электрода k и часовой расход g для электродов без покрытия и электродов с покрытием соответственно равны 1,02 г/А·ч, 1120 г/ч и 0,27 г/А·ч, 297 г/ч. Тогда износ электрода, вызываемый окислением и воздушной эрозией его боковой поверхности, характеризуется следующими величинами:

$$k_1 - k_2 = 1,02 - 0,27 = 0,75 \text{ г/А} \cdot \text{ч};$$

$$g_1 - g_2 = 1120 - 297 = 823 \text{ г/А} \cdot \text{ч}.$$

При работе на оптимальных токах окисление и эрозия боковой поверхности электрода оказывают существенное влияние на расход электродов и составляет свыше 70% общего износа электрода,

т. е. превышают износ электрода с торца (сублимация материала электрода) более чем в 2,5 раза. Одновременно решается задача сохранения постоянным в процессе работы поперечного сечения электрода, что гарантирует стабильность режима воздушно-дуговой резки, т. е. решается не только экономическая задача, но и техническая. Стабильность оптимального технологического режима процесса обеспечивает минимальные структурные изменения в металле отливки.

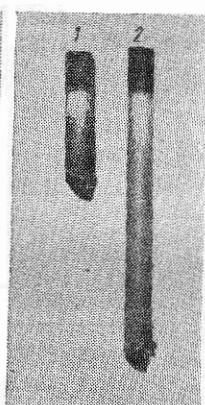
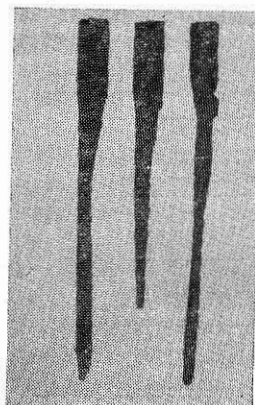


Рис. 59. Электроды без защитного покрытия после трехминутного горения

Рис. 60. Электроды с защитным покрытием из смеси 50% Al_2O_3 + 50% Al после работы в течение:

1 — 18 мин; 2 — 5 мин

начинает разрушаться, хотя длина электрода достаточная для дальнейшего ведения процесса. Кроме того, нарушение режима резки, вызываемое изменением поперечного сечения электрода, ухудшает качество поверхности реза (табл. 51).

С целью удешевления процесса напыления проводили работы по замене аргона азотом. Положительные результаты получены при применении следующего режима: сила тока 300—340 А; напряжение холостого хода 160 В; рабочее напряжение 65—85 В; рабочее давление плазмообразующих газов: азота — 5 кгс/см², водорода 2 кгс/см², транспортирующего азота 2 кгс/см²; расход азота 3—3,5 м³/ч, водорода 0,3—0,4 м³/ч, расстояние от торца сопла до напыляемой поверхности 80—120 мм; частота вращения электродов 150—250 об/мин; скорость перемещения плазменной горелки 300—400 мм/мин; расход порошка 2,5—3 кг/ч.

Характер износа электрода и его стойкость такие же, как и при использовании аргона в качестве плазмообразующего газа, поэтому указанный режим напыления с использованием азота

в качестве плазмообразующего газа можно рекомендовать для практического применения.

Т а б л и ц а 51. Сравнительные данные по графитированным электродам марки ГМЗ без покрытия и с защитным покрытием состава: 50% Al_2O_3 + 50% Al

Показатель	Тип электродов	
	без покрытия	с покрытием
Род тока	Переменный	Переменный
Сила тока, А	1200	1200
Давление сжатого воздуха, кгс/см ²	5	5
Размер электрода, мм	15×25×220	25×25×220
Механическая стойкость покрытия в процессе резки	—	Покрытие не растрескивается и не отслаивается
Тепловая стойкость	—	Следов расплавления покрытия не наблюдается
Эрозионная стойкость электродов	Электрод активно окисляется с боковой поверхности и заостряется на конус	Электрод сохраняет исходные размеры поперечного сечения, окисления боковой поверхности и заострения электрода на конус не наблюдается
Характер зоны структурных изменений	Неравномерный	Равномерный
Электросопротивление, Ом·см	0,7—1,2 мм 9—10	0,7—0,8 мм
Постоянство режима резки	Нарушалось	Электрод 9—10, покрытие 4—6 Не нарушалось
Геометрия реза	Нарушалась	Не нарушалась
Качество поверхности реза	Удовлетворительное	Хорошее
Подгорание губок электрододержателя	Не наблюдалось	Не наблюдалось
Толщина покрытия, мм	—	0,15—0,2
Эффективный коэффициент использования электрода, г/г	24	54
Коэффициент расхода электрода, г/А·ч	1,19	0,41

Развитие воздушно-дуговой резки в нашей стране ориентировалось на применение в качестве источников питания стандартных сварочных преобразователей. Так как длительное время считалось оптимальным вариантом применение постоянного тока обратной полярности на режимах до 400—500 А, то основными источниками питания для воздушно-дуговой резки служили сварочные генераторы для ручной дуговой сварки. Работы, выполненные в последние годы, показали целесообразность применения переменного

тока для воздушно-дуговой резки. Качество реза при применении переменного или выпрямленного тока значительной величины (свыше 800), наоборот, выше, чем при резке на постоянном токе той же величины, поэтому наиболее правильное направление — применение сварочных трансформаторов, экономичных и надежных в эксплуатации источников тока. Стабильность процесса воздушно-дуговой резки электродами развитого сечения (свыше 250 мм²) обеспечивается при работе от трансформаторов ТСД-2000, ТДФ-2001, ТДФ-1601. Возможно также применение сварочных выпрямителей (+ на электроде) марок ВКСМ-1000, ВДМ-1601 и др. Однако указанные трансформаторы не в полной мере отвечают специфике воздушно-дуговой резки, поэтому в настоящее время организуется централизованное изготовление специальных трансформаторов для воздушно-дуговой резки ТДР-1601, которые будут иметь более жесткое крепление обмоток, их конструкция, система охлаждения, кожух и т. д. будут отвечать условиям работы литейных цехов с учетом повышенной запыленности обрубных участков металлической пылью. Основные параметры трансформатора для воздушно-дуговой обработки отливок:

Напряжение питающей сети	350 В
Напряжение холостого хода	75—80 В
Число ступеней тока	3
Номинальный ток при ПВ = 100%:	
I ступень	1000 А
II ступень	1300 А
III ступень	1600 А
Номинальное напряжение	40—45 В

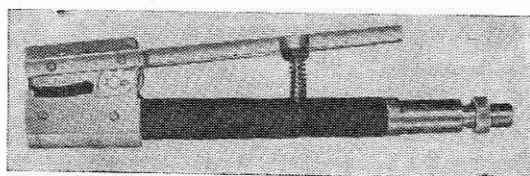
К технологическому оборудованию для воздушно-дуговой резки на обрубных операциях предъявляются повышенные требования. Существующие резаки РВД-1, РВД-4А-66 и др. не годятся для обработки чугунного литья из-за их маломощности и недостаточной защищенности от случайных замыканий на изделие. Резаки, соответствующие режимам и условиям работы на обрубных участках литейных цехов, должны удовлетворять следующим основным требованиям: обеспечивать возможность работы как на наружных поверхностях, так и внутри отливок, в том числе в труднодоступных полостях; не перегреваться при работе на токах 1000—1600 А; обеспечивать надежное крепление электрода в губках; иметь надежную изоляцию на случай соприкосновения с изделием; обеспечивать стабильное воздушное дутье заданной интенсивности; иметь достаточно стойкие зажимные губки и обеспечивать быструю их смену или смену всей головки; обладать минимальными размерами и массой. На литейных заводах нашли применение резаки различных конструкций: рычажного типа, с пневмозажимами и др.

Резаки рычажного пружинного типа (рис. 61) получили достаточно широкое распространение. Однако эксплуатация этих резаков показала, что их конструкция не всегда удовлетворяет

требованиям производства. Например, применение пружины для обеспечения зажатия электрода — это не оптимальное решение, так как при установке пружин с небольшим усилием, последние быстро выходят из строя и не обеспечивают надежного зажатия электрода; при установке более мощных пружин затрудняется установка электродов. Резак рычажного типа удобен при срезке заливок, приливов и других элементов на наружных поверхностях. При выполнении резки внутри полостей отливок рычажный зажим затрудняет манипулирование резаком.

Резаки с пневмозажимами более компактны. Ими удобно работать не только на наружных, но и внутренних поверхностях отливок. Однако при смене электрода обязательно нужно перекрывать сжатый воздух, что связано с расположением вентиля сразу же за рукояткой резака. Это дополнительное сопротивление

Рис. 61. Резак с рычажно-пружинным зажимом



на пути сжатого воздуха сказывается на интенсивности дутья. Кроме того, площадь рабочей поверхности плунжера должны быть достаточной для обеспечения усилия, необходимого для надежного зажатия электрода, что связано с увеличением диаметра рукоятки (пневмоцилиндр расположен внутри рукоятки).

Если использовать для работы пневмоцилиндра не технологический воздух, а подавать воздух отдельным шлангом, то размеры пневмоцилиндра можно предельно уменьшить, но в этом случае добавляется еще один шланг дополнительной подачи воздуха на зажим электрода. Все резаки с пневмозажимами сравнительно сложны по своему устройству и более трудоемки в изготовлении, чем держатели с рычажным зажимом. Наиболее удачным решением следует считать создание резаков с зажимом клинового типа (рис. 62). Головка состоит из медной скобы 2, внутри которой с помощью тяги 4 перемещается клиновидная губка 1. Для подсоединения головки к рукоятке держателя служит штуцер 3, который приварен к скобе 2. Боковые щеки 5 предохраняют клиновидную губку 1 и электрод от бокового перемещения. Кожух 6 с изоляционными прокладками 7 обеспечивает защиту головки при случайных соприкосновениях с изделием.

Принцип работы головки резака: тягой 4 устанавливают клиновидную губку 1 в крайнее левое положение, электрод вставляется в головку и нажатием руки или упором в деревянную планку заклинивается в скобе 2. Воздух подается по щелевому каналу

в скобе. По окончании резки легким ударом по тяге 4 клиновую губку перемещают влево, освобождают от зажима огарок, и последний свободно выпадет из головки резака.

На этом принципе клинового зажима электрода созданы головки резаков различного назначения: прямые — для поверхностной воздушно-дуговой резки на наружных поверхностях; угловые — для срезки различных элементов внутри отливок, в окнах и т. п. На рукоятку резака можно навернуть в зависимости от конкретных условий работы любую из указанных головок. Такая унификация удобна для резчика, так как нет необходимости менять весь резак: можно снять только головку и заменить ее другой. Все электрододержатели клинового типа рассчитаны на работу при токах до 1500 А. Опыт эксплуатации на ряде заводов показал

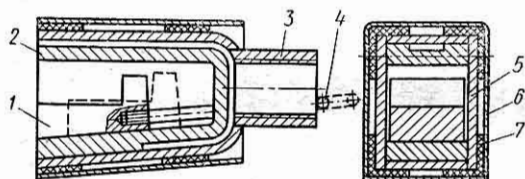


Рис. 62. Конструкция головки резака с клиновым зажимом

высокую надежность и удобство в работе держателей клинового типа.

Определенный интерес представляет конструкция резака, охлаждаемого водой и имеющего возможность регулировать вылет электрода. Наличие водяного охлаждения позволяет увеличить применяемые токи до 1700—2000 А без увеличения веса резака. Положительный фактор — также возможность изменения вылета электрода и применения более длинных электродов, что выгодно с экономической точки зрения, так как уменьшается количество огарков, а расход электрода — это основная статья затрат на осуществление процесса воздушно-дуговой резки. Однако широкого применения держатель с рычажным эксцентриком и с регулируемым вылетом электрода не нашел. Повреждение водяных каналов приводит к моментальному выходу держателя из строя, сечение токоведущих жил незначительно (порядка 20—25 мм²) и при нарушении водяного охлаждения они быстро перегорают.

Резаки с клиновым зажимом показали наибольшую надежность и удобство в эксплуатации. ГОСТ 10796—74 предусматривает в типаже применяемых резаков специальные резаки для литейных цехов, присвоив им индекс Л.

Особенности применения воздушно-дуговой резки на обрубных участках требовали решить вопрос рационального подвода тока и воздуха к резаку. Первоначально подвод тока и воздуха осуществляли отдельно. В этом случае при работе на токах 800—1200 А к резаку подвели электрокабель сечением 180—220 мм²

и воздушный шланг с внутренним диаметром 13 мм, что утяжеляло резак и затрудняло маневренность резчика. Уменьшить сечение токоведущего шланга во много раз можно применением водоохлаждаемых кабелей. Однако тяжелые условия работы и недостаточный уровень культуры производства на обрубных участках зачастую не позволяет идти таким путем. Более рациональным оказалось создание совмещенных токовоздухопроводов. Совмещение в одном канале подвода тока и воздуха не только позволяет сократить количество шлангов, но и резко уменьшить вес, так как воздух используется одновременно для охлаждения токоведущих жил. В качестве материала токоведущих жил служат щеточные провода марки ПЩ-2,5. Провода сплетены из проволок малого диаметра 0,1—0,13 мм, что значительно увеличивает общую поверхность, охлаждаемую воздухом. В результате улучшаются условия охлаждения токоведущих жил, сечение которых, естественно, можно уменьшить. Одновременно набор жил из проволок малого диаметра делает токовоздухопровод более гибким.

Глава XIII

Технико-экономические показатели и организация процесса воздушно-дуговой резки

Широкому применению воздушно-дуговой резки в различных отраслях, в том числе и в литейном производстве, в значительной мере способствовали ее высокие технико-экономические показатели. Поэтому был проведен анализ взаимосвязи различных параметров режима воздушно-дуговой резки чугуна пластинчатыми графитированными электродами с основными технико-экономическими показателями процесса, к которым относятся производительность, расход электродов и электроэнергии.

Воздушное дутье — один из основных параметров процесса воздушно-дуговой резки, существенно определяющий качество поверхности реза и величину зоны структурных изменений в основном металле. В то же время воздушное дутье не сказывается на количестве расплавленного металла, а только обеспечивает его удаление. Естественно, что воздушное дутье, быстро удаляя расплавленный металл из зоны резки, препятствует перегреву металла до значительной температуры, тем самым как бы способствуя более рациональному использованию теплоты дуги. Поэтому важна интенсивность воздушного дутья, которая гарантирует практически полное удаление расплава с поверхности реза, т. е. обеспечивает нормальное протекание процесса воздушно-дуговой резки. В этом интервале давление сжатого воздуха и его расход могут изменяться в относительно широких пределах, не оказывая влияния на производительность резки. Оптимальный расход воздуха при работе на токах 1000—1500 А 30—50 м³/ч.

Основной технологический параметр, оказывающий решающее влияние на производительность резки, — величина тока. В качестве показателя производительности резки принято использовать понятие интенсивности выплавления металла g_B , под которым понимается масса металла, выплавленного в течение 1 ч (кг/ч) при данных технологических параметрах процесса:

$$g_B = \frac{k_B I}{1000},$$

где k_B — коэффициент выплавления, г/А·ч.

Коэффициент выплавления (аналогично коэффициенту наплавки при дуговой сварке) характеризует количество металла

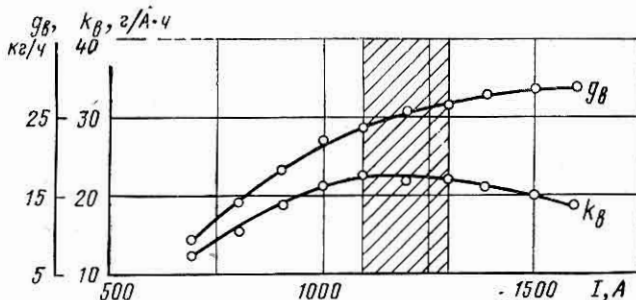


Рис. 63. Зависимость коэффициента выплавления и часовой производительности от величины тока

в граммах, которое может выплавить 1 А тока в течение 1 ч:

$$k_B = \frac{3600 (G_1 - G_2)}{I t},$$

где G_1 и G_2 — масса образца до и после резки, г; t — время резки, с.

Зависимости g_B и k_B от величины тока определяли при следующих постоянных параметрах: давление сжатого воздуха 5 кгс/см², первоначальный вылет электрода 120 мм, скорость резки 420 мм/мин.

При воздушно-дуговой резке чугуна характер зависимостей коэффициента выплавления и часовой производительности от величины тока различен (рис. 63). Коэффициент выплавления с увеличением силы тока возрастает, но до определенного предела, затем несколько понижается. Первоначальное возрастание коэффициента выплавления связано с увеличением доли тепловой мощности дуги, затрачиваемой на расплавление обрабатываемого металла. Дальнейшее увеличение тока нарушает это соотношение в сторону возрастания доли теплоты, вносимой в массу основного металла, но несмотря на уменьшение коэффициента выплавления, производительность резки не снижается, а продолжает непрерывно возрастать.

Повышение производительности резки с увеличением силы тока обусловлено увеличением тепловой мощности дуги как источника плавления металла. Некоторое снижение коэффициента выплавления при больших токах (свыше 1100—1200 А) компенсируется резким увеличением общей тепловой мощности дугового разряда.

Скорость резки также оказывает влияние на производительность резки. С увеличением скорости резки w_p возрастает коэффициент выплавления k_v . Такая зависимость может быть объяснена главным образом изменением величины поверхностного контакта электрода с обрабатываемым металлом. Повышению скорости резки сопутствует уменьшение поперечного сечения выплавляемой канавки, при этом соответственно уменьшается контактная поверхность электрода с обрабатываемым металлом. В первом приближении ее можно считать (для электродов с размерами поперечного сечения 15×25 мм) эквивалентной площади поперечного сечения выплавляемой канавки.

К. В. Васильев и И. С. Шапиро установили, что с увеличением площади поперечного сечения канавки коэффициент выплавления значительно уменьшается. Таким образом, подтверждается вывод о том, что всякое увеличение скорости резки (равнозначно — уменьшение площади поперечного сечения выплавляемой канавки) при данной мощности дугового разряда способствует повышению производительности резки, оцениваемой коэффициентом выплавления. Увеличение же поперечного сечения выплавляемой канавки за счет уменьшения скорости резки приводит к более глубокому проникновению дуги в металл, повышению доли тепловой мощности, поглощаемой обрабатываемым металлом, и снижению производительности процесса.

Наиболее существенно на технико-экономическую эффективность процесса воздушно-дуговой резки влияет расход графитированных электродов. Для оценки расхода электрода используем понятие интенсивности износа электродов (часовой расход):

$$g = kI,$$

где k — коэффициент расхода электродов, г/А·ч; I — рабочий ток, А.

Коэффициент расхода электрода представляет собой количество граммов электрода, приходящееся на каждый ампер силы тока, протекающего через поперечное сечение электрода в течение 1 ч:

$$k = \frac{3600G}{It},$$

где G — масса израсходованной части электрода, г; t — время горения дуги, с.

Ток существенно влияет на коэффициент расхода и интенсивность износа электродов (рис. 64). Обе величины возрастают с уве-

личением тока, причем интенсивность износа растет более резко, чем коэффициент расхода, который при токах свыше 1200 А становится для данного сечения электрода практически постоянным.

Эффективность применения электродов оценивается эффективным коэффициентом расхода электродов $k_{эф}$, под которым следует понимать величину, характеризующую количество металла, выплавленного одним граммом израсходованного электрода:

$$k_{эф} = G_B / G,$$

где G_B — масса металла, выплавленного электродом, г.

С увеличением тока при воздушно-дуговой резке $k_{эф}$ возрастает до определенного предела, а при дальнейшем увеличении

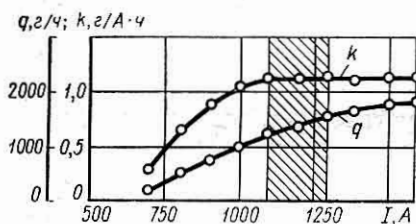


Рис. 64. Зависимость коэффициента расхода k и интенсивности износа g электрода от величины тока

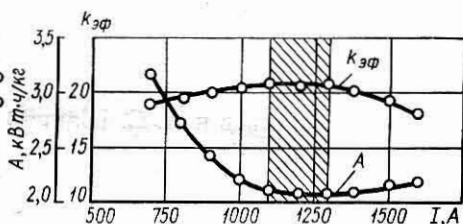


Рис. 65. Зависимость эффективного коэффициента расхода электродов и удельного расхода электроэнергии от величины тока

тока даже несколько уменьшается (рис. 65), так как при этом интенсивность выплавки растет быстрее, чем растет расход электродов. Дальнейшее увеличение тока приводит к сглаживанию скоростей роста обоих показателей (g_B и g), а затем и их изменению в пользу расхода электродов.

Следовательно, для данного сечения электрода целесообразно увеличивать ток до определенного значения, обеспечивающего максимальную эффективность использования электрода. Дальнейшее увеличение тока следует ограничить, несмотря на то, что производительность воздушно-дуговой резки при этом возрастает, так как расход электродов будет снижать экономическую эффективность применения процесса в производстве.

Важный технико-экономический показатель процесса воздушно-дуговой резки — удельный расход электроэнергии. С увеличением тока удельный расход электроэнергии уменьшается, но только до определенного предела. Видимо, это связано с тем, что при дальнейшем повышении тока увеличивается доля электроэнергии, затрачиваемая на нагрев электрода.

Одновременно повышение тока вызывает углубление дуги в основной металл, что приводит к увеличенному поглощению теплоты основным металлом.

Таким образом, основным параметром, оказывающим существенное влияние на производительность воздушно-дуговой резки, расход электродов и электроэнергии, является величина тока. Оптимальной областью применения токовых режимов следует считать токи величиной 1100—1300 А, тем более, что именно этот интервал токов при воздушно-дуговой резке чугуна на переменном токе электродами сечением 15×25 мм обеспечивает минимальное термическое воздействие на основной металл.

В литейном производстве воздушно-дуговая резка успешно конкурирует с обрубкой пневматическими зубилами и дополняет ее. При этом значительно оздоравливаются условия труда, сокра-

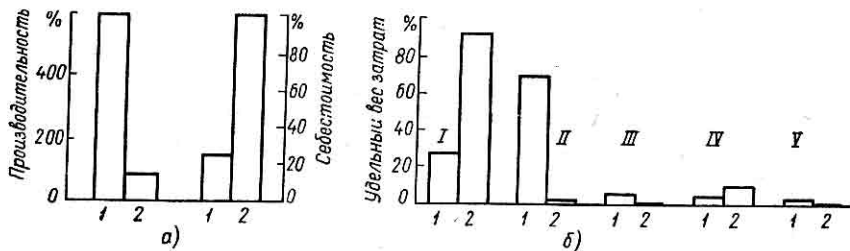


Рис. 66. Основные технико-экономические показатели воздушно-дуговой резки (1) чугуна по сравнению с рубкой пневматическими молотками (2):

a — производительность и себестоимость; *б* — удельный вес затрат; I — зарплата; II — материалы и инструмент; III — электроэнергия; IV — сжатый воздух; V — амортизационные отчисления

щается длительность производственного цикла обрубki отливок и достигается существенный экономический эффект. Анализ работы производственных участков воздушно-дуговой резки показывает, что производительность труда увеличивается в 6 раз, а технологическая себестоимость снижается в 4 раза. Если при применении пневматической рубки главенствующей статьей затрат является рабочая сила, то при воздушно-дуговой резке — материалы (рис. 66).

Внедрение процесса воздушно-дуговой резки в литейном производстве неразрывно связано с организацией рабочих участков. Для внедрения воздушно-дуговой резки на предприятии требуется прежде всего решить вопросы энергоснабжения, приобретения необходимого оборудования, оснастки и материалов, организации рабочих мест, обучения рабочих и т. д.

Участок воздушно-дуговой резки должен иметь подводку электроэнергии, сжатого воздуха, воды, а также водосброс. В качестве источника питания в обрубных отделениях следует применять стандартные сварочные или специальные трансформаторы необходимой мощности. Источники тока должны быть установлены на деревянных подставках и ограждены от возможного повреждения их при кантовке отливок.

Рабочее место необходимо снабжать поворотной консолью, на которой подвешивается комплект резаков и пневмоинструмент (пневмомолоток, шлифовальная машинка). Пол участка должен быть бетонирован, в бетон заделаны рельсы, которые служат постоянным заземлением. Участок необходимо отделить от цеха металлической перегородкой высотой 2,5—3 м.

Изучение условий труда при воздушно-дуговой резке чугуна показало, что этот технологический процесс сопровождается образованием сварочного аэрозоля, содержащего окислы марганца и свободную двуокись кремния. Наличие аэрозоля обна-

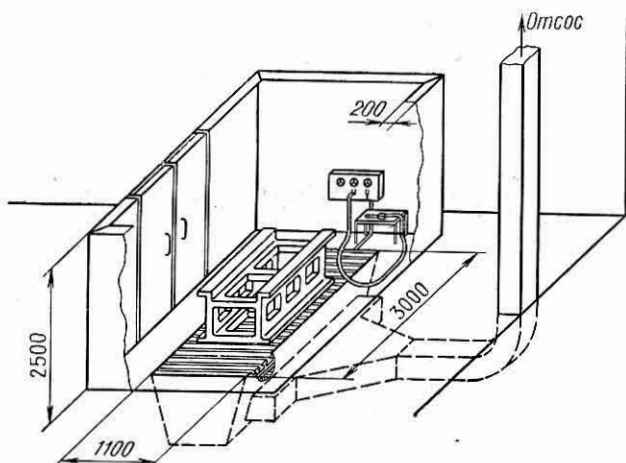


Рис. 67. Типовой участок воздушно-дуговой резки с напольной системой вентиляции

ружено и в нейтральной зоне. Это объясняется особенностью процесса, при котором расплав удаляется струей сжатого воздуха, что приводит к интенсивному распространению аэрозоля в замкнутом пространстве сварочного участка. Показатели концентрации окиси углерода и окислов азота не превышали предельно допустимого уровня.

Температура и влажность воздуха на рабочих местах резчиков находились в пределах нормы.

С целью обеспечения нормальных условий труда и удовлетворения требованиям санитарно-технических норм участок воздушно-дуговой резки снабжают различными типами местной вытяжной вентиляции. Наиболее эффективное улавливание тонкодисперсной пыли и газов, образующихся в процессе воздушно-дуговой резки, можно обеспечить в прямоточной вентиляционной камере с нижним отсосом (рис. 67). В данной камере (при оптимальном расходе отсасываемого воздуха) предупреждается распространение пыли и газов в окружающее пространство и создается направленное

движение отсасываемого воздуха к воздухоприемнику, причем рабочий, находящийся внутри камеры, может выполнять необходимые технологические операции. При этом содержание вредных веществ в зоне дыхания резчика не превышает предельно допустимый уровень, так как все конструктивные и технические параметры (размеры, расход отсасываемого воздуха и скорость всасывания) взаимосвязаны таким образом, что под влиянием бокового ограждения закрылков и встречного потока отсасываемого воздуха струя и восходящие конвективные потоки отклоняются и поворачиваются в сторону воздухоприемника.

Конструктивные и технические параметры прямоточной вентиляционной камеры определяют, исходя из аэродинамических характеристик струй, образующихся при осуществлении процесса воздушно-дуговой резки наиболее сложного с точки зрения обеспыливания. При воздушно-дуговой резке плоская воздушная струя, истекающая из сопла резака в результате взаимодействия с изделием, преобразуется в плоскую веерную осесимметричную струю, свободно распространяющуюся в камере до встречи со стенкой. Экспериментально определено, что угол раскрытия веерной струи составляет 150° , угол подъема ядра струи равен 20° . Кривая на рис. 68 аппроксимируется уравнением вида

$$v = Ae^{-c(x-b)},$$

где v — скорость струи, м/с; e — основание натурального логарифма; x — координата точки на оси струи, м; A , c , b — координаты, отражающие аэродинамические особенности веерной осесимметричной струи.

Математическая обработка данных позволила найти значения коэффициентов $A = 15,6$; $c = 11,1$; $b = 0,21$. Таким образом, скорость ядра веерной струи на экспериментальном участке, т. е. на расстоянии 0,7—3 мм от места обработки, определяется уравнением

$$v = 15,6e^{-11,1(x-0,21)} \text{ м/с. (A)}$$

Из рис. 68 видно, что наиболее активное падение скорости происходит на участке 1,5 м от точки удара струи об изделие. Эту величину с наибольшим градиентом падения скорости следует принять как половину минимального размера ширины ка-

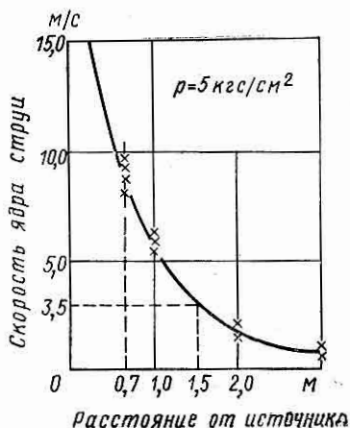


Рис. 68. График затухания скорости струи, исходящей из сопла резака

меры. Следовательно, минимальную ширину вентиляционной камеры принимаем $B_{\min} = 3$ м.

В связи с тем, что после удара о стенку камеры примерно 70% струи направляется в сторону открытого верха, возникает необходимость расчета высоты камеры. Элементы, из которых складывается общая высота камеры: высота изделия h , высота подъема веерной струи над изделием h_2 и высота участка h_3 , на котором происходит растекание струи по вертикальной стенке в направлении открытого верха камеры

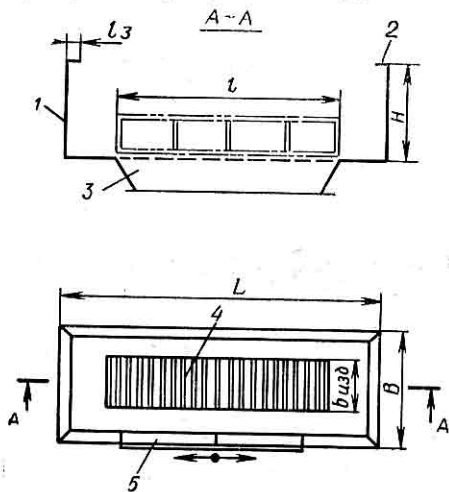


Рис. 69. Схема камеры с нижним отсосом:

1 — боковая стенка; 2 — закрылки; 3 — воздухоприемник; 4 — вентиляционная решетка; 5 — раздвижные двери

тате получаем общую длину струи от точки 1 до точки 3 без учета дополнительной потери скорости при повороте в точке 2:

$$h_3 = x - \frac{B}{2 \cos 20^\circ}.$$

Расчетная высота камеры с учетом всех слагаемых

$$H = x + \frac{B}{2} \left(\operatorname{tg} 20^\circ - \frac{1}{\cos 20^\circ} \right) + 1.$$

Высота камеры может изменяться в зависимости от ее ширины, при увеличении ширины высота камеры уменьшается. Предельную ширину камеры B и соответственно ее наименьшую высоту H рассчитывают при условии, когда струя достигает стенки, снижаясь до конечной скорости v , т. е. при условии $h_3 = 0$.

Камера в верхней части снабжена отражателями, минимальный размер которых зависит от условия обеспечения поворота струи под прямым углом, составляющим 0,04—0,08 B . Максималь-

нции открытого верха камеры (рис. 69). Высота изделия обычно не превышает 1 м, поэтому для расчетов принимаем $h_1 = 1$ м. Высоту участка h_2 определяем из условия подъема ядра струи под углом 20° на участке то места обработки до стенки камеры:

$$h_2 = \frac{B}{2} \operatorname{tg} 20^\circ.$$

При определении h_3 , исходя из необходимости опрокидывания струи в точке 3 (рис. 70) встречным потоком отсасываемого воздуха, принимаем $v = 1$ м/с. Из формулы (А) определяем координату x , в которой скорость $v = 1$ м/с. В резуль-

ную ширину отражателей принимаем, исходя из условий свободы маневрирования мостового крана. Величина потерь энергии струи при ударе об отражатель равна 15%, при этом окончательная скорость срыва струи $v = 1 \cdot 0,85 = 0,85$ м/с.

Скорость потока всасываемого воздуха в камеру может быть меньше скорости срыва струи. Экспериментальная проверка работы камеры показала, что вполне достаточна скорость 0,7 м/с. Взаимодействие потока отсасываемого воздуха со струей при таких скоростях приводит к отклонению струи в сторону воздухоприемника, минуя зону дыхания резчика, что обеспечивает содержание аэрозоля в зоне дыхания оператора на уровне, не превышающем предельно допустимую концентрацию.

Длина камеры определяется длиной обрабатываемой отливки с учетом необходимых проходов с обеих сторон. Специфика рассматриваемого процесса накладывает ограничение лишь в отношении минимальной длины камеры. Из условия затухания струи сжатого воздуха возникает требование, чтобы длина камеры была не меньше минимальной ширины. Максимальная длина камеры обусловлена экономической целесообразностью и ограничивается размером, составляющим $2B$.

Размеры вентиляционной решетки принимают: $b = B - 1,5$ м; $l = 1,5$ м; (b и l — ширина и длина вентиляционной решетки). Следует предусматривать свободный проход между отливкой и стенкой камеры не менее 0,75 м с каждой стороны.

Скорость потока воздуха, поступающего в камеру, должна быть 0,7 м/с в верхнем сечении камеры с учетом площади отражателей. При этом скорость движения воздуха в габаритном сечении камеры составляет 0,5 м/с, что удовлетворяет санитарным нормам проектирования промышленных предприятий. Указанные скорости будут достигаться при скорости воздуха в вентиляционной решетке 2,25 м/с, что составляет 9 м/с в ее живом сечении. Производительность отсоса с достаточной степенью точности может быть определена по эмпирической формуле $Q = 8100bl$. При указанных параметрах камеры и производительности отсоса достигается высокая гигиеническая эффективность при оптимальном режиме работы камеры.

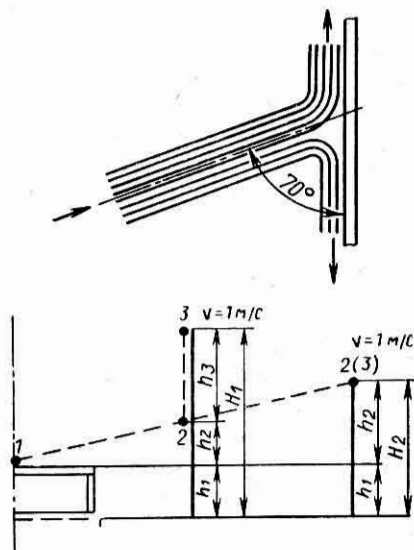


Рис. 70 Схема настиления струи на боковую стенку камеры

На основании полученных результатов разработан типажный ряд камер для воздушно-дуговой резки.

Опыт организации производственных участков воздушно-дуговой резки на заводах показал целесообразность создания специальных распределительных щитов, к которым подведены воздушные, токовые и водяные магистрали. Такой щит предусматривает использование на рабочем месте как воздушно-дуговой резки, так и пневмообрубки и очистки литья с помощью наждачных кругов. Для этих целей на лицевой стороне щита имеются два штуцера, к которым подключен сжатый воздух из сети и, следовательно, можно подсоединить пневмоинструмент. Для осуществления воздушно-дуговой резки имеются медные штуцеры для подключения токовоздушных шлангов. В случае использования резаков с водяным охлаждением предусмотрен подвод и слив воды.

Вопросы электробезопасности и предохранения от яркого излучения дугового разряда остаются теми же, что при осуществлении сварочных процессов, поэтому участки воздушно-дуговой резки также должны удовлетворять всем требованиям техники безопасности, предъявляемым к сварочным участкам.

Рабочие, допускаемые к воздушно-дуговой резке на обрубке литья, должны быть обучены приемам резки и правилам техники безопасности. С целью гарантии выполнения технологии резки и обеспечения соответствующего качества реза необходимо организовать приемку обработанных отливок работниками ОТК.

Состояние инструмента и другой технологической оснастки оказывает значительное влияние на качество обрабатываемых воздушно-дуговой резкой поверхностей. В связи с этим требуется, чтобы резаки и токовоздухопроводы регулярно проходили профилактический осмотр и, при необходимости, соответствующий ремонт.

Рациональный подбор источников питания, создание технологического оборудования, электродов, типовых схем комплексных участков и систем вентиляции обеспечили широкое внедрение воздушно-дуговой резки в чугунолитейных цехах заводов различных отраслей.

В настоящее время воздушно-дуговая резка стала неотъемлемой частью технологического процесса производства отливок.

Список литературы

1. Алов А. А. Основы теории процессов сварки и пайки. М., «Машиностроение» 1964. 272 с.
2. Асиновская Г. А., Журавицкий Ю. И. Газовая сварка чугуна. Машиностроение. М., 1974. 96 с.
3. Асиновская Г. А., Иванов Б. Г. Некоторые способы сварки чугуна. М., «Машиностроение», 1971. 49 с.
4. Аснис А. Е., Грецкий Ю. Я., Мельниченко И. М. Самозащитная проволока ПАНЧ-11 для механизированной сварки чугуна — «Автоматическая сварка», 1976, № 2. 69 с.
5. Богачев И. П. Металлография чугуна. Свердловск—Москва, Металлургияиздат, 1962. 362 с.
6. Васильев К. В. Газодуговые методы резки металла. М., «Машиностроение», 1970. 80 с.
7. Вертман А. Н., Самарин А. И. Свойства расплавов железа. М., «Наука», 1969. 278 с.
8. Гельман А. С., Медовый В. В. Стыковая сварка высокопрочного чугуна — «Сварочное производство», 1973, № 1, с. 12—15.
9. Гиринович Н. Г. Кристаллизация и свойства чугуна в отливках. М—Л, «Машиностроение», 1966. 562 с.
10. Грецкий Ю. Я., Метлицкий В. А. Модифицирование чугуна при сварке порошковой проволокой. — «Автоматическая сварка», 1975, № 12, с. 27—31.
11. Ерохин А. А. Основы сварки плавлением. М., «Машиностроение», 1973. 448 с.
12. Евсеев Г. Б., Глизманенко Д. Л. Оборудование и технология газопламенной обработки металлов и неметаллических материалов. М., «Машиностроение», 1974. 311 с.
13. Левченков В. И., Иванов Б. Г. Воздушно-дуговая резка приливов чугунных и стальных отливок. — «Литейное производство», 1971. № 12, с. 3—5.
14. Лесков Г. И. Электрическая сварочная дуга. М., «Машиностроение», 1970. 335 с.
15. Маслов Ю. А., Милютин В. С., Топачевский В. Л. Динамический напор воздушных струй при воздушно-дуговой резке металлов. — «Сварочное производство», 1971, № 11. с. 9—11.
16. Пивоварский Е. Высококачественный чугун. Том 1. М., «Металлургия», 1965. 650 с.
17. Рыкалин Н. Н. Расчеты тепловых процессов при сварке. М., Машгиз, 1961. 296 с.
18. Стеренбоген Ю. А., Хорунов В. Ф., Грецкий Ю. Я. Сварка и наплавка чугуна. Киев, «Наукова Думка», 1968. 213 с.
19. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением. Под ред. Б. Е. Патона, М., «Машиностроение», 1974. 767 с.
20. Хренов К. К. Сварка, резка и пайка металлов. М., «Машиностроение», 1970. 408 с.

Оглавление

Предисловие
3

Глава I
Отливки и детали из чугуна
5

Глава II
Способы сварки чугуна
17

Глава III
Общие вопросы технологии сварки чугуна
22

Глава IV
Сварочные материалы для чугуна
31

Глава V
Технологические процессы получения наплавленного металла в виде серого чугуна горячими способами сварки
76

Глава VI
Технологические процессы пайко-сварки и пайки чугуна
95

Глава VII
Получение наплавленного металла — не чугуна, поддающегося обработке
105

Глава VIII
Сварка специальных чугунов
126

Глава IX
Вспомогательные способы исправления дефектов
136

Глава X
Организация производства, экономика и техника безопасности
141

Глава XI
Воздушно-дуговая резка при обрубке чугунных отливок
150

Глава XII
Технология воздушно-дуговой резки
179

Глава XIII
Технико-экономические показатели и организация процесса воздушно-дуговой резки
197

Список литературы
207