

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

БРЕСТСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Кафедра строительно-конструктивных работ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторным работам по дисциплине "Сварочные работы в строительстве и основы технологии металлов" для студентов специальности 2903 "Промышленное и гражданское строительство".

Брест 1993

УДД 620.186 + 621.791

В методических указаниях изложена методика исследования микроструктуры сталей и сплавов, дан подбор режимов закалки углеродистых и легированных сталей. Приведено описание различных типов трансформаторов и оборудования для автоматической электродуговой сварки. Изложены методы оценки сопротивляемости сварных соединений образованию горячих и холодных трещин, методика расчета деформаций и перемещений в зоне сварного соединения, а также мероприятия по их устранению.

Составители: В.И.Дреган, к.т.н., профессор,
А.В.Мухин, к.т.н., доцент,
С.М.Ляликов, к.т.н., доцент.

Рецензент: В.Н.Деркач - к.т.н., заведующий сектором научно-технического центра Госстроя Республики Беларусь в г.Бресте.

© Брестский политехнический институт 1993

СОДЕРЖАНИЕ

Работа №1. Изучение микроструктуры углеродистых и легированных сталей и сплавов.	4
Работа №2. Влияние термической обработки на механические свойства и структуру стали	10
Работа №3. Устройство сварочного трансформатора и настройка его на заданный режим работы	17
Работа №4. Устройство сварочного трактора и настройка его на заданный режим работы	24
Работа №5. Прочность сварных соединений	31
Работа №6. Сварочные деформации и перемещения	39

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

"Изучение микроструктуры углеродистых и легированных сталей и сплавов".

Цель работы: ознакомиться с разновидностями структур различных сталей и сплавов.

Оборудование и материалы: Металлографический микроскоп, образцы различных сталей и сплавов, травильный раствор, шлифовально-полировальный станок.

Сведения из теории.

К числу методов, используемых для исследования структуры металлов и сплавов, относятся:

- макроскопический анализ;
- микроскопический анализ;
- микрораентгеноспектральный анализ.

Макроскопический анализ (макроанализ) заключается в определении строения металла невооруженным глазом или через лупу при не больших увеличениях (до 30 раз). Макроструктуру можно изучать непосредственно на поверхности металла, в изломе заготовки, а также после предварительной подготовки исследуемой поверхности, заключающейся в ее шлифовании и травлении специальными реактивами. Поверхность образца (темплета), подготовленная для исследования макроструктуры, называется макрошлифом.

Микроскопический анализ (микроанализ) применяют для изучения микроструктуры металлов. Микроструктурой называют внутреннее строение металла, наблюдаемое с помощью микроскопа-оптического (оптическая микроскопия) или электронного (электронная микроскопия).

Для микроанализа металлов и сплавов применяются отечественные оптические микроскопы типа МИМ-6, МИМ-7, МИМ-8, МИМ-9, МИМ-4 и "Неофот-21" (К.Цейсс, Германия),

Изучение структуры металлов в микроскопе возможно лишь при достаточно интенсивном отражении световых лучей от исследуемой поверхности. Поэтому поверхность образца должна быть специально подготовлена. Образец, поверхность которого подготовлена для микроанализа, называется микрошлифом.

Образец вырезают из испытуемого материала, затем с помощью напильника или шлифовального круга выравнивают поверхность, пред-

назначенную для микроанализа. Полученную плоскую поверхность образца для удаления грубых рисок шлифуют на шлифовальной бумаге различных номеров, при этом постепенно переходит от бумаги с более крупным к бумаге с более мелким шлифовальным зерном. После шлифовки на самой мелкозернистой шлифовальной бумаге на поверхности образца остаются мелкие риски, которые удаляют последующим полированием. Получающаяся после полирования зеркальная поверхность под микроскопом имеет вид светлого круга и не позволяет судить о строении металла или сплава. Только неметаллические включения (например, сульфиды в стали, графит в сером чугуне) вследствие их окрашенности в различные цвета выделяются на светлом фоне полированной микрошлифа. Для выявления микроструктуры подготовленную поверхность образца тринит. Под действием химически активной среды (растворов кислот, солей, щелочей и т.д.) отдельные части зерна, различные структурные составляющие травятся неодинаково. Те составляющие, которые протравятся сильнее, образуют на поверхности шлифа впадины. При попадании светового луча в такую впадину, он отразится в сторону и не падает в объектив микроскопа. Этот участок будет казаться темным. А те участки, которые протравятся слабо, отразят свет в поле зрения микроскопа, поэтому они будут казаться светлыми.

Структура углеродистых сталей в равновесном состоянии.

Основой для определения фаз и структурных составляющих железоуглеродистых сплавов в равновесном состоянии является диаграмма состояния "железо-цементит" (рис. 1.).

Структурными составляющими углеродистой стали после ее полного отжига являются следующие структуры:

ФЕРРИТ- α (F_{α}) - твердый раствор внедрения углерода и других примесей в α -железе. Кристаллическая решетка феррита - объемноцентрированная куб (ОЦК) с периодом $a = 2,86 \text{ \AA}$ ($1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ м}$). При рассмотрении в микроскоп феррит наблюдается в виде светлых зерен неодинаковой яркости. Максимальная растворимость углерода в α -феррите равна 0,02% при 727°С, при охлаждении до комнатной температуры она становится равной 0,008%. Феррит вязок и пластичен, он имеет следующие механические свойства: $\sigma_{\text{в}} = 250 \text{ МПа}$; $\sigma_{\text{т}} = 1 \text{ ЮМПа}$; $\delta = 6\%$; $\psi = 80\%$; HV_{30} .

ФЕРРИТ- δ (F_{δ}) - высокотемпературный феррит - твердый раствор внедрения углерода и других примесей в δ -железе, имеющей ОЦК-решетку с периодом $a = 2,83 \text{ \AA}$. Предельная растворимость углерода в δ -феррите

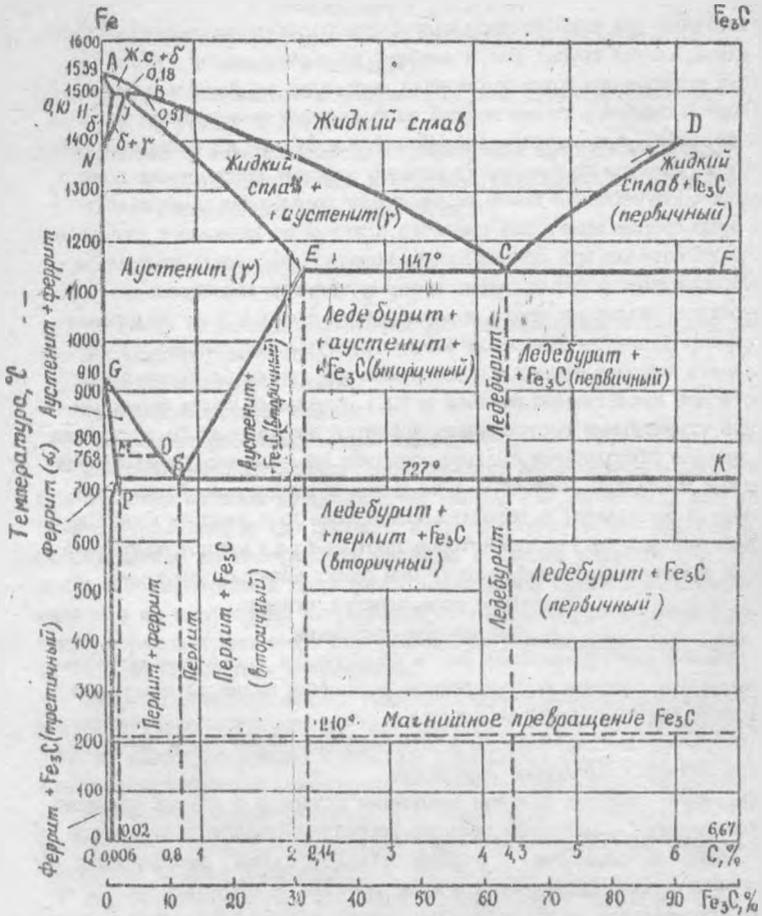


Рис. I. Диаграмма состояния железо-Fe₃C.

равна 0,1% при 1490°C.

АУСТЕНИТ (А) — твердый раствор внедрения углерода и других примесей в γ -железе. Предельная растворимость углерода в γ -железе — 2,14% при 1147°C. Атом углерода в решетке γ -железа располагается в центре элементарной ячейки (γ -железо имеет гранецентрированную кубическую решетку (ГЦК) с периодом $a=3,65\text{Å}$). Аустенит обладает высокой пластичностью, низкими пределами текучести и прочностю.

ЦЕМЕНТИТ (Ц) — химическое соединение железа с углеродом — карбид железа Fe_3C , содержит 6,67%С. Цементит имеет сложную ромбическую решетку с плотной упаковкой атомов, обладает высокой твердостью ($HV\ 1000$) и очень малой пластичностью. Цементит травится реактивами медленно, чем феррит, поэтому он образует выступы на поверхности микрошлифа. ПЕРЛИТ (П) — механическая смесь феррита и цементита. Различают перлит пластинчатый (цементит в виде пластинок) и зернистый (цементит в виде зрен). Твердость перлита выше, чем у феррита, по меньшей, чем у

цементита. В чистых сплавах железа с углеродом перлит содержит 0,8%С. В сталях и чугунах, содержащих кремний, марганец и другие элементы, перлит содержит меньше углерода. Перлит имеет следующие механические характеристики: $\sigma_{\text{с}}$ = 1000МПа; $\sigma_{\text{т}}$ = 800МПа; δ = 16%; ψ = 40%; $HBI80+250$.

Сплавы с содержанием углерода до 2,14% называют сталями, свыше 2,14% — чугунами. Сталь с содержанием углерода, равным 0,8% называют перлитной или эвтектоидной. Сталь с содержанием углерода менее 0,8% называют доэвтектоидной, свыше 0,8% — заэвтектоидной.

С увеличением содержания углерода в стали структура изменяется следующим образом (рис 1). Структура стали с минимальным содержанием углерода (технически чистое железо) представляет феррит, имеющий ферритное (политрическое) строение. Незначительное увеличение содержания углерода, даже до сотых долей процента, вследствие его незначительной растворимости в α -железе (до 0,008% при 20°C) вызывает образование второй фазы — цементита. При содержании углерода примерно до 0,02% цементит присутствует в структуре в виде относительно небольших количеств третичного цементита, выделяющегося из феррита при охлаждении вследствие уменьшения растворимости углерода в α -железе. Третичный цементит располагается главным образом по границам зерен феррита, что понижает пластичность и вязкость стали.

Увеличение содержания углерода сверх 0,02% вызывает образование перлита. Количество перлита возрастает пропорционально увеличению содержания углерода и соответственно уменьшается количество избыточного феррита. Перлит как двухфазная структура при воздействии реактива на микрошлиф травится интенсивнее, чем феррит. Поэтому при рассмотрении под микроскопом перлит имеет вид темных включений неоднородного строения. Строение перлита можно отчетливо различать только при сравнительно больших увеличениях - более чем в 500 раз.

В стали перлит в большинстве случаев имеет пластинчатое строение; темные пластинки, видимые в перлите, представляют тени, отбрасываемые на участки феррита выступившими после травления участками (пластинками) цементита.

В заэвтектоидной стали основной структурной составляющей является перлит. Наряду с перлитом присутствует и вторичный цементит, выделяющийся из аустенита при охлаждении вследствие уменьшения растворимости углерода в γ -железе, как это указано линией ES диаграммы (рис.1).

Структура чугуна.

Химический состав и, в частности, содержание углерода не характеризуют свойства чугуна: его структура и основные свойства зависят не только от химического состава, но и от процесса выплавки, условий охлаждения отливки и режима термической обработки. Углерод в чугуне может находиться в виде цементита или графита или одновременно в виде цементита и графита.

Белый чугун - это чугун, в котором весь углерод находится в связанном состоянии (в виде цементита). Цементит придает этому светлый блеск, поэтому чугун называется белым. Белые чугуны по структуре подразделяют на доэвтектические, имеющие структуру $\text{Fe} + \text{Fe}_3\text{C} + \text{L}$, эвтектические со структурой L , заэвтектические $\text{Fe}_3\text{C} + \text{L}$. Основной структуры белого чугуна является ледебурит (L), представляющий собой механическую смесь цементита (C) и аустенита (A) при $t = 727^\circ\text{C}$ или смесь цементита и перлита (P) при $t < 727^\circ\text{C}$. Ледебурит содержит 4,3% углерода. Белый чугун обладает высокой твердостью (на 400 + 500), хрупок и практически не поддается обработке режущим инструментом.

Серый чугун - это чугун, в котором большая часть углерода находится в свободном состоянии в виде графита, количество, форма и распределение которого могут изменяться в широких пределах. Миним

содержаться также цементит, но только не в структурно свободном состоянии, а в составе перлита (ледобурита или цементита вторичного в структуре серого чугуна нет). Структура серого чугуна состоит из металлической основы и включения графита, вкрапленных в эту основу. Графитные включения лучше определять на нетравленных шлифах. Хрупкие графитные включения в металлической основе выкрашиваются при шлифовании и полировании микрошлифа, поэтому участки, в которых они находились, кажутся в микроскопе темными. Они имеют характерную пластинчатую форму. Металлическую основу изучают после травления микрошлифа. Она состоит из феррита и перлита, количественное соотношение их может быть различным.

Ковкими называются чугуны, графит в которых кристаллизуется в хлопьевидной форме. Такие чугуны получают путем длительного отжига отливки из белого чугуна по специальному режиму. Ковкие чугуны могут иметь ферритную или перлитную металлическую основу.

Высокопрочный чугун получают модифицированием магнием. В отличие от серого чугуна он имеет включения графита шаровидной формы. Структуру высокопрочных чугунов определяют на нетравленных шлифах (для выявления графитных включений), а затем на травленных для характеристики металлической основы, которая может быть ферритной, перлитной или феррито-перлитной.

Порядок выполнения работы.

1. Изучить кратко сведения из теории.
2. Ознакомиться с конструкцией и работой оптического микроскопа.
3. Выбрать (и обосновать) увеличение микроскопа для просмотра структур сталей и сплавов применительно к данной лабораторной работе.
4. Выбрать реактив для травления шлифа.
5. Зарисовать наблюдаемое в микроскоп структуры.
6. Охарактеризовать микроструктуру: описание должно содержать не только перечисление структурных составляющих, но и данные о их форме, количественном соотношении между ними; определить примерное содержание углерода.
7. Данные исследований занести в таблицу:

№ образца	Марка стали или сплава	Содержание углерода, %	Микроструктура	
			Зарисовка	Описание
1. и т.д.				

Содержание отчета.

При составлении отчета необходимо указать цель работы, изложить краткие сведения из теории, привести зарисовку микроструктур исследованных марок сталей и сплавов, описать их.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

"Влияние термической обработки на механические свойства и структуру стали".

Цель работы: Исследовать закономерности изменения твердости и структуры сталей при их закалке и отпуске.

Оборудование и материалы: Лабораторная муфельная печь с термопарой и потенциометром, твердомеры, емкость с охлаждающей жидкостью, металлографический микроскоп, атлас микроструктур, образцы углеродистых и легированных сталей.

Сведения из теории.

Процесс термической обработки состоит в нагреве металла до определенной температуры и последующем охлаждении с целью получения желаемого его строения. Режим любой термической обработки можно представить в виде графика в координатах t (температура) и τ (время) (рис.1). Его характеризуют следующие основные параметры: температура нагрева $t_{нагр}$, время выдержки сплава при температуре нагрева $\tau_{д}$, скорость нагрева $v_{нагр}$ и скорость охлаждения $v_{охл}$.

Для изменения свойств металла необходимо, чтобы в нем в результате термической обработки произошли остающиеся изменения, обусловленные фазовыми превращениями. Структурные превращения, которые происходят в углеродистых сталях при нагреве и медленном охлаждении, изучаются по диаграмме состояния "железо-цементит" (рис.2).

Температуры, при которых начинаются или завершаются структурные превращения в твердом состоянии для определенной марки стали называются критическими точками. Геометрическое место критических точек для сталей, близких по содержанию углерода, превращается в

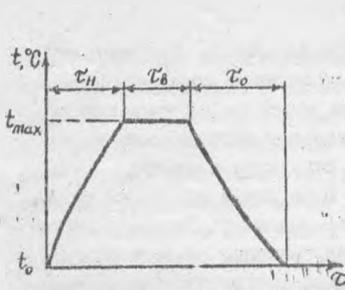


Рис. 1. График термической обработки.

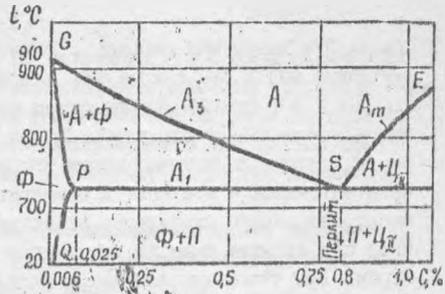


Рис. 2. Стальной угол диаграммы железо-цементит.

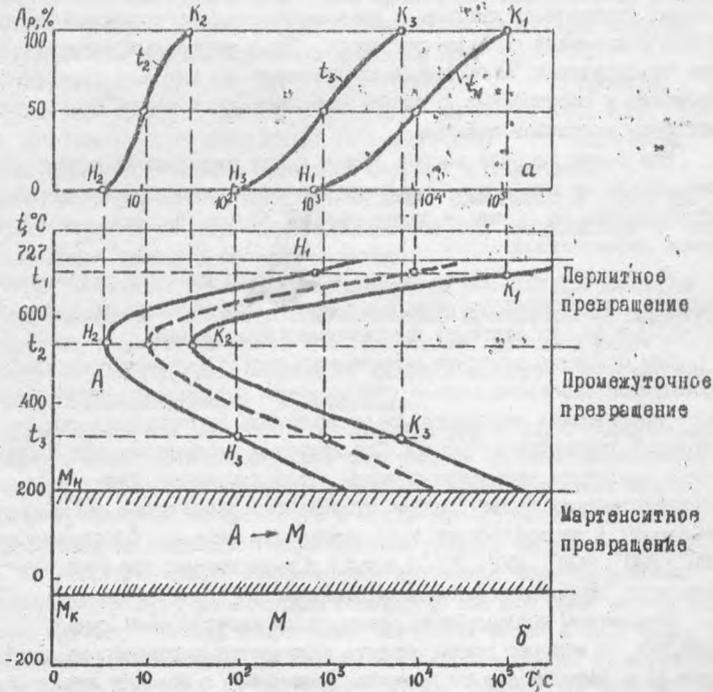


Рис. 3. Схема построения диаграммы изотермического превращения переохлажденного аустенита: а-кинетические кривые; б-диаграмма изотермического превращения переохлажденного аустенита.

линии. Эти линии при нагреве принято обозначать A_{c1} (линия PS), A_{c2} (линия OS) и A_{cm} (линия SE), а при охлаждении соответственно A_{c1} , A_{c2} и A_{cm} (рис.2). Нагрев стали ниже точки A_{c1} не приводит к изменению исходной структуры. При дальнейшем нагреве выше точки A_{c1} образуется в доэвтектоидной стали структура аустенита, а в заэвтектоидной - аустенит и цементит. Выше линии OS и SE стали имеют однородную стабильную структуру - аустенит. Зародыши аустенита при нагреве выше A_{c1} образуются на границах раздела феррит-карбид. При таком нагреве число зародышей всегда достаточно велико и начальное зерно аустенита мелкое. При дальнейшем повышении температуры или увеличении длительности выдержки при данной температуре происходит рост зерна аустенита, термодинамически оправданный стремлением системы к уменьшению свободной энергии вследствие сокращения поверхности зерен. Продолжительный нагрев стали при температурах, значительно превышающих A_{c2} или A_{cm} (перегрев), приводит к образованию крупного действительного зерна. Перегрев может быть исправлен отжигом.

Еще более высокий нагрев, чем при перегреве и к тому же в окислительной атмосфере, вызывает пережог стали; он сопровождается образованием по границам зерен окислов железа. Пережог - неисправимый дефект стали.

Если сталь со структурой аустенита, полученной в результате нагрева до температуры выше A_{c2} или A_{cm} , переохладить до температуры ниже A_{c1} , то аустенит претерпевает превращение.

Для описания кинетики превращения переохлажденного аустенита пользуются экспериментально построенными диаграммами изотермического превращения аустенита, т.е. превращения, протекающего при постоянной температуре (рис.3). Для изучения изотермического превращения аустенита небольшие образцы стали нагревают до температур, соответствующих существованию стабильного аустенита, а затем быстро охлаждают (переохлаждают) до температур ниже A_{c1} (например до 700°, 600°, 500°, 400°, 300°С и т.д.) и выдерживают при этих температурах до полного распада аустенита.

Результаты исследования описываются кинетической кривой (рис.3а), по которой можно оценить количество распавшегося аустенита A_f в зависимости от времени, прошедшего с момента начала распада. Как видно из рис.3а в течение некоторого промежутка времени (N_1, N_2, N_3) распад аустенита экспериментально не фиксируется. Этот

период называют инкубационным. По истечении этого периода аустенит начинает распадаться с образованием более стабильных структур. Скорость распада сначала быстро увеличивается, а затем постепенно замедляется. Через различные промежутки времени (K_1 , K_2 , K_3) процесс распада постепенно затухает и, наконец, полностью заканчивается или приостанавливается.

В зависимости от степени переохлаждения аустенита различают три температурные области или ступени превращения: перлитную, область промежуточного превращения и мартенситную.

Перлитная область в углеродистых сталях распространяется на интервал температур от точки A_1 до изгиба изотермической диаграммы ($\sim 650^\circ\text{C}$). При этих температурах происходит диффузионный распад аустенита с образованием феррито-цементитной структуры, которую условно по степени дисперсности делят на три:

Структура	Перлит	Сорбит	Троостит
Δ_0 , мкм	0,8-1,0	0,25-0,3	0,1-0,15
НВ, МПа	1800-2500	2500-3500	3500-4500

где Δ_0 -средняя толщина пластинок феррита и цементита.

Продукты перлитного превращения имеют пластинчатое строение, поэтому полученная структура наблюдается под микроскопом в виде чередующихся темных и светлых полосок.

При охлаждении аустенита до температур $650-200^\circ\text{C}$ с изотермической выдержкой образуется так называемая промежуточная структура игольчатый троостит (бейнит). Это превращение обладает рядом особенностей, присущих как перлитному (диффузионному), так и мартенситному (бездиффузионному) превращениям.

При охлаждении аустенита до температуры $\sim 210^\circ\text{C}$ диффузионные процессы полностью подавляются и образование феррито-цементитной структуры становится невозможным. В этом случае протекает бездиффузионное превращение аустенита в структуру закаленной стали-мартенсит, который является пересыщенным твердым раствором внедренный углерод в α -железе концентрации аустенита. Мартенсит имеет тетрагональную пространственную решетку, в которой один период больше другого - a . Под микроскопом мартенсит виден в виде игл, хаотически расположенных по всему полю микроструктуры (при увеличении в 500-800 раз). Он обладает высокой твердостью ($HRC \sim 65$) и прочностью. Временное сопротивление низкоуглеродистого мартенсита ($0,015\%C$) составляет ~ 1000 МПа, а при $0,8-0,9\%C$ достигает $2000 \pm$

+2300 МПа.

Существенное влияние на структуру стали оказывает скорость охлаждения. При скорости охлаждения до 50°С в секунду распавшийся аустенит образует структуру сорбита, при скорости охлаждения 80+100°С в секунду - структуру тропеита, а при скорости охлаждения 150+180°С в секунду образуется мартенсит.

Минимальная скорость охлаждения, при которой по всему сечению детали образуется мартенситная структура называется критической скоростью закалки.

Структура стали, получающаяся после термообработки, зависит не только от скорости охлаждения, но и от температуры нагрева. При нагреве доэвтектоидной стали до температуры на 30-50°С выше линии A_{cm} с последующим охлаждением со скоростью выше критической структура стали будет состоять из одного мартенсита (полная закалка). Если же сталь нагреть до температуры несколько выше A_{c1} , то после ее охлаждения со скоростью выше критической в структуре наряду с мартенситом будет присутствовать феррит (неполная закалка).

Нагрев заэвтектоидной стали до температуры выше A_{cm} приводит к образованию структуры, состоящей из крупнокристаллического мартенсита и значительного количества остаточного аустенита. Такая структура имеет более низкую твердость из-за растворения избыточного цементита и присутствия остаточного аустенита. Поэтому для закалки заэвтектоидной стали осуществляют нагрев до температуры на 30-50° выше линии A_{c1} . При таком нагреве образуется аустенит при сохранении некоторого количества вторичного цементита. В итоге после охлаждения структура стали состоит из мартенсита и нерастворенных частиц карбидов, обладающих высокой твердостью, и закаленная сталь характеризуется высокой твердостью.

Продолжительность нагрева образцов в печи должна обеспечить прогрев изделия по сечению и завершение фазовых превращений, но не должна быть слишком большой, чтобы не вызвать роста зерен и обезуглероживания поверхностных слоев стали. Продолжительность выдержки часто принимают равной 1,5-20% от времени нагрева. Рекомендуется выдержка в электропечи при температуре закалки 750-900°С для углеродистой стали (0,7+1,3%С) 50+80с на 1 мм наименьшего сечения, а для легированной стали 70+90с.

Охлаждение при закалке должно обеспечить получение структуры мартенсита в пределах сечения образца и не должно вызывать зака-

лочных дефектов. Обычно для закалки используют воду, водные растворы солей и щелочей, масла. При закалке углеродистой и некоторых низколегированных сталей, имеющих малую устойчивость переохлажденного аустенита, в качестве охлаждающей среды применяют воду и водные растворы NaCl или NaOH . Для легированных сталей применяют минеральное масло. Закаливаемый образец нужно помещать в закалочной среде для разрушения "паровой рубашки", мешающей закалке.

Окончательной операцией термической обработки является отпуск, устраняющий полностью или частично внутренние напряжения, возникающие при закалке. Кроме того, отпуск обеспечивает получение стабильной структуры и требуемых механических свойств (повышенной вязкости, пониженной твердости).

Основное влияние на свойства стали оказывает температура отпуска. Различают следующие три вида отпуска:

Низкотемпературный (низкий) отпуск проводят при нагреве до 250°C . При этом снижаются закалочные макронапряжения, твердость стали почти не изменяется, несколько увеличивается вязкость. Структура - отпущенный мартенсит. Этому виду отпуска подвергают режущий и измерительный инструмент из углеродистых и низколегированных сталей. Продолжительность отпуска I-2,5ч.

Среднетемпературный (средний) отпуск выполняют при температуре $350-500^\circ\text{C}$, что приводит к значительному снижению твердости, прочности и повышению вязкости. Структура стали - троостит отпуска. Продолжительность отпуска I-8ч. Применяется для пружин, рессор и штампов.

Высокотемпературный (высокий) отпуск проводят при температуре $500-680^\circ\text{C}$. При этом понижается твердость, прочность и возрастает пластичность и вязкость. Высокий отпуск создает наилучшее соотношение прочности и вязкости стали. Структура стали - сорбит отпуска.

Этому виду отпуска подвергается большинство конструкционных сталей. Длительность высокого отпуска составляет I-8ч. Термическую обработку, состоящую из закалки и высокого отпуска, называют удучением.

Для исследования зависимости механических свойств сталей от температуры отпуска закаленные образцы подвергают отпуску при различных температурах - $200^\circ, 400^\circ, 600^\circ\text{C}$. Время нагрева при этом берется из расчета 2-3мин на 1мм диаметра образца.

Подготовленные шлифованием и полированием образцы испытывают

на твердость по Роквеллу после закалки и отпуска, переводят в твердость по Бригеллю. Вычисляют временное сопротивление по соотношению $\sigma_b \approx k \cdot HB$, где $k=0,34+0,38$ - для сталей, у которых $\sigma_{0,2}/\sigma_b > 0,85$

По полученным данным строят график зависимости твердости стали от температуры закалки и температуры отпуска.

Порядок выполнения работы.

1. Определить твердость и микроструктуру образцов различных сталей до термообработки.

2. По содержанию углерода в стали и диаметру образцов назначить режимы закалки и отпуска (температуру нагрева, время нагрева и выдержки, охлаждающую среду).

3. Нагреть образцы в муфельной электропечи и закалить их в охлаждающей среде.

4. Определить твердость образцов и микроструктуру после закалки.

5. Провести три вида отпуска для образцов одной марки стали.

6. Определить твердость образцов после различных видов отпуска.

7. Построить график зависимости твердости от температуры отпуска.

8. Полученные данные внести в таблицу

№ п-п	Марка стали	Нагрев для закалки а	Механические свойства после закалки			Микроструктура стали (зарисовать и описать)	Механические свойства после отпуска		
			НКС	НВ, МПа	σ_b , МПа		200° НКС	400° НКС	600° НКС
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Содержание отчета.

В отчете указать цели работы и дать краткие сведения из теории. Описать микроструктуру сталей после закалки и отпуска. Проанализировать влияние температуры нагрева сталей на их структуру и механические свойства после закалки. Проанализировать влияние температуры нагрева стали при отпуске на твердость. Сделать выводы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

“Устройство сварочного трансформатора и настройка его на заданный режим работы”.

Цель работы :изучить структурную и электромагнитную схему трансформатора, научиться снимать внешнюю характеристику и уметь настраивать сварочный трансформатор на заданные ток и напряжение.

Теоретическая часть

Трансформатор - это аппарат, преобразующий переменный ток одного напряжения в переменный ток другого напряжения. Трансформатор представляет собой сердечник из магнитомягкой стали с двумя обмотками. Обмотка, к которой подводится напряжение, называется первичной, а обмотка, к которой подключается потребитель - вторичной. Между числом витков в обмотках и напряжением на входе и выходе трансформатора существует строгая зависимость. Напряжение на входе во столько раз отличается от напряжения на выходе, во сколько раз число витков первичной обмотки больше числа витков во вторичной обмотке. Число, показывающее во сколько раз количество витков одной обмотки, а соответственно, во сколько раз первичное напряжение отличается от вторичного, называется коэффициентом трансформации. Трансформаторы, у которых вторичное напряжение меньше первичного, называются понижающими. Именно таким является сварочный трансформатор. Изменение величины сварочного тока в трансформаторах может осуществляться путем изменения числа витков в первичной и вторичной обмотках (применяется только для дизельного регулирования) или путем изменения индуктивного сопротивления сварочной цепи. Индуктивное сопротивление не может изменяться за счет изменения величины воздушного зазора в магнитопроводе, за счет изменения расстояния между первичной и вторичной обмотками, за счет введения магнитного шунта и др.

Сварочные трансформаторы подразделяются на четыре основные группы : сварочные трансформаторы с отдельным дросселем, сварочные трансформаторы со встроенным дросселем, сварочные трансформаторы с подвижным магнитным шунтом, сварочные трансформаторы с увеличенным магнитным рассеянием и подвижной обмоткой.

Сварочные аппараты с отдельным дросселем (рис I) состоят из

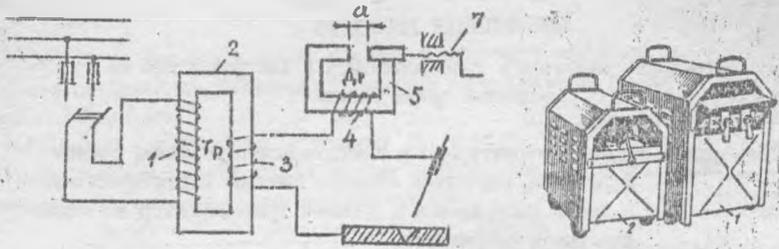


Рис. 1. Конструктивная схема и внешний вид трансформатора с отдельным дросселем.

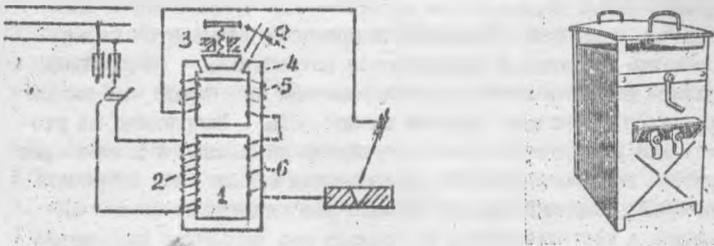


Рис. 2. Конструктивная схема и внешний вид трансформатора со встроенным дросселем.

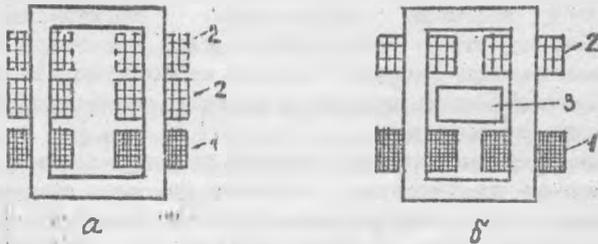


Рис. 3. Конструктивные схемы трансформаторов: а- с подвижной обмоткой; б- с подвижным магнитным шунтом.

понижающего трансформатора и дросселя (регулятора тока). Трансформатор Тр имеет сердечник (магнитопровод) 2 из пластин, отштампованных из тонкой трансформаторной стали, толщиной 0,5 мм. На сердечнике расположены первичная I и вторичная 3 обмотки. Первичная обмотка из изолированной проволоки подключается к сети переменного тока напряжением 220 или 380В. Во вторичной обмотке, изготовленной из медной шины, индуцируется напряжение 60..70В. Последовательно с вторичной обмоткой в сварочную цепь включена обмотка 4 (из голый медной шины) дросселя Др. Обмотка имеет асбестовые прокладки, пропитанные термостойким лаком. Сердечник дросселя также набран из пластин тонкой трансформаторной стали и состоит из двух частей: неподвижной 5, на которой расположена обмотка дросселя и подвижной 6, перемещаемой с помощью винтовой пары 7. Изменяя зазор "а" между неподвижным и подвижным магнитопроводами изменяют индуктивное сопротивление дросселя и, тем самым, ток в сварочной цепи. При увеличении зазора магнитное сопротивление магнитопровода дросселя увеличивается, магнитный поток ослабевает, уменьшается э.д.с. самоиндукции катушки и ее индуктивное сопротивление. Это приводит к возрастанию сварочного тока. При уменьшении зазора сварочный ток уменьшается. По такой схеме изготовлены сварочные трансформаторы типа СТЗ.

Сварочные трансформаторы со встроенным дросселем имеют электромагнитную схему, представленную на рис.2. Магнитопровод трансформатора состоит из основного сердечника I, на котором расположена первичная 2 и вторичная 3 обмотки собственно трансформатора и добавочного сердечника 4 с обмоткой 5 дросселя. Добавочный магнитопровод расположен над основным и состоит из неподвижной и подвижной частей, между которыми с помощью винтовой пары 3 устанавливается необходимый воздушный зазор "а". Сварочный ток регулируют изменяя зазор "а": чем больше зазор "а", тем больше сварочный ток. Конструктивную схему со встроенным дросселем имеют трансформаторы типа СТН и ТСД. Преимущества трансформаторов этого типа

по сравнению с трансформаторами типа СТЗ, кроме однокорпусного исполнения, — меньшие габариты и масса. Однако они не лишены недостатков, присущих трансформаторам с отдельным дросселем. Недостатком этих источников является неустойчивая работа при сварке на малых токах, из-за вибрации подвижного пакета дросселя, вызываемая значительными электродинамическими усилиями. Эти усилия возникают

при замыкании дугового промежутка в момент перехода капли расплавленного металла с электрода в сварочную ванну.

Конструктивная схема сварочного аппарата с увеличенным магнитным рассеянием и подвижной обмоткой показана на рис.3а. Такую схему имеют трансформаторы типа ТС и ТД. Трансформатор имеет магнитопровод, на обоих ответвлениях которого расположены по две катушки: одна с первичной обмоткой 1, а вторая - со вторичной 2. Катушки первичной обмотки закреплены неподвижно в нижней части сердечника, а катушки вторичной обмотки перемещаются по стержню с помощью винтовой пары. Сварочный ток регулируют изменением расстояния между первичной и вторичной обмотками. При увеличении этого расстояния магнитный поток рассеяния возрастает, а сварочный ток уменьшается.

К трансформаторам с повышенным магнитным рассеянием относятся трансформаторы типа ПТН и СТН, принципиальная конструктивная схема которых показана на рис.3б. В этих трансформаторах магнитное рассеяние создается на счет подвижного магнитного шунта 3, помещенного между стержнями трансформатора. При выдвижении магнитного шунта за пределы магнитопровода рассеяние уменьшается, что приводит к увеличению сварочного тока.

При электродуговой сварке имеют дело с системой, состоящей из источника питания и сварочной дуги. Установившийся режим работы этой системы определяется точкой А пересечения внешней характеристики источника питания 2 и статической вольт-амперной характеристики дуги 1 (рис.4). Внешняя характеристика источника питания - это график зависимости между напряжением на зажимах источника питания и током, отдаваемым источником. Характеристика источников питания сварочной дуги может быть крутопадающей I, пологопадающей 2 и жесткой 3 (рис.5).

График статической вольт-амперной характеристики (ВАХ) дуги характеризуется тремя участками (рис.4): I - малореализуемый на практике, II - применяемый для ручной дуговой сварки, III - применяемый для сварки в среде углекислого газа; 3, I - статические вольт-амперные характеристики дуги (соответственно большой и меньшей длины дуги).

Для построения вольт-амперной характеристики источника питания необходимо изменить длину дуги от короткого замыкания и для каждой фиксированной длины дуги измерить по приборам напряжение дуги и сварочный ток. Полученные данные свести в таб-

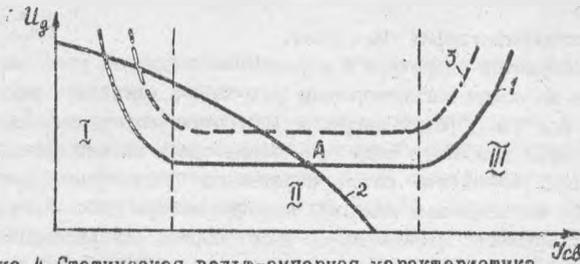


Рис. 4. Статическая вольт-амперная характеристика дуги (1,3) и внешняя характеристика источника питания (2).

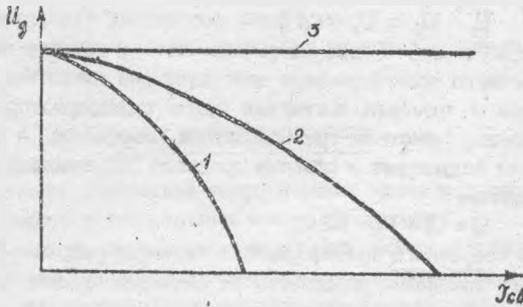


Рис. 5. Характеристики источников питания сварочной дуги.

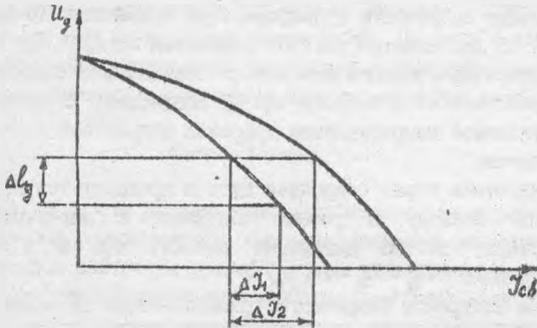


Рис. 6. Изменение сварочного тока: ΔI_1 - при колебаниях длины дуги; ΔI_2 - при изменении индуктивности дросселя.

лицу и построить график $U_g = f(I_{св})$.

Трансформатор сварочный с нормальным магнитным рассеянием и дросселем на общем магнитопроводе работает в следующих режимах: холостой ход (ХХ), режим нагрузки (РН), режим короткого замыкания (КЗ). В режиме холостого хода трансформатора в магнитопроводе действует только магнитный поток собственно трансформатора, который индуцирует во вторичных обмотках трансформатора ЭДС самоиндукции. Так как собственно трансформатор имеет нормальное рассеяние, то ЭДС самоиндукции U_2 - величина постоянная. Напряжение на выходе вторичных обмоток собственно трансформатора и на выходе сварочного трансформатора U_x приблизительно равны 65В:

$$U_2 \approx U_g = U_x = 65 \text{ В}$$

В режиме КЗ замкнута цепь сварочного тока и поэтому в магнитопроводе сварочного трансформатора действуют два магнитных потока: трансформатора и дросселя. Магнитный поток трансформатора индуцирует во вторичных обмотках трансформатора напряжение, а магнитный поток дросселя индуцирует в обмотке дросселя ЭДС самоиндукции дросселя $E_{с.др}$, поэтому

$$U_g = U_x = U_2 - E_{с.др}$$

Режим КЗ сварочного трансформатора является рабочим и поэтому токи короткого замыкания ограничены по значению, причем ограничены в сварочном трансформаторе токи короткого замыкания достигаются за счет ЭДС самоиндукции дросселя, которая направлена встречно вторичному напряжению. В момент короткого замыкания на дуге напряжение на выходе сварочного трансформатора составляет 10-15В. Изменение тока КЗ достигается за счет изменения зазора $\delta_{др}$ в магнитопроводе дросселя: с увеличением зазора индуктивное сопротивление дросселя уменьшается и поэтому ток КЗ возрастает; с уменьшением зазора индуктивное сопротивление дросселя возрастает и поэтому ток КЗ уменьшается.

В режиме нагрузки горит сварочная дуга и проходит ток по обмотке дросселя. Поэтому в режиме нагрузки в магнитопроводе дросселя действуют те же магнитные потоки, что и в режиме короткого замыкания:

$$U_g = U_2 - E_{с.др}$$

Способы настройки сварочного трансформатора на режим ручной дуговой сварки по току и напряжению.

Сварочный ток влияет на глубину провара основного металла.

Сварочный ток можно изменить за счет длины дуги и за счет регулировки источника питания.

При ручной дуговой сварке неизбежны колебания длины дуги. Поэтому применяют источники питания с крутопадающими внешними характеристиками, что обеспечивает незначительные изменения тока (глубины провара) при колебаниях длины дуги (рис.6). Сварочный ток можно существенно изменить при постоянной длине дуги за счет регулировки источника. В сварочном трансформаторе с дросселем на общем магнитопроводе регулируют зазор в магнитопроводе дросселя (каждая внешняя характеристика источника соответствует определенному положению его регулирующего устройства, рис.6).

Длина дуги (напряжение дуги) при ручной дуговой сварке поддерживается вручную.

Порядок проведения работы

1. Изучение студентами теоретической части и содержания лабораторной работы с последующим контролем знаний.

2. Объяснение преподавателем порядка работы студентов с тренажером, макетом и сварочным трансформатором ТДМ-401У2.

3. Изучить устройство и принцип работы сварочного трансформатора ТДМ-401У2.

4. При помощи тренажера изучить конструкцию и принцип работы сварочного трансформатора ТДС-500-1. Изучить способ настройки трансформатора на заданный режим работы по току и напряжению.

5. При помощи тренажера сварочного трансформатора ТД-500 построить зависимость напряжения дуги от величины сварочного тока $U_d = f(I_{св})$.

Состав отчета,

Отчет о работе должен содержать: наименование работы, цель работы, краткие теоретические сведения, описание конструкции, описание способов настройки трансформатора на заданный режим работы по току и напряжению, график зависимости $U_d = f(I_{св})$, выводы по работе.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

"Устройство сварочного трактора и настройка ^{его} на заданный режим работы".

Цель работы: изучить назначение и устройство сварочного трактора, а также его настройку по току, напряжению и скорости сварки; установить влияние параметров режима сварки на возможные результаты.

Сварка под флюсом - дуговая сварка, осуществляемая с использованием плавящегося электрода и введением в зону дуги для создания защиты гранулированного (зернистого) флюса, слой которого полностью закрывает дугу и, частично расплавляясь, создает вокруг нее подвижную защитную оболочку, перемещающуюся вместе с дугой.

Оборудование для сварки под флюсом

В практике нашли широкое применение два вида автоматического оборудования: подвесные (неподвижные и самоходные) головки и сварочные трактора. Автомат производит следующие операции: возбуждение дуги, непрерывную подачу в зону дуги электродной проволоки и флюса, перемещение сварочной дуги вдоль свариваемого шва, гашение дуги в конце сварки.

Автоматические подвесные головки неподвижные и самоходные разработаны Институтом электросварки им. Е.О.Патона. Автоматическая головка АВС (рис.1) состоит из трех отдельных узлов. Узел А - собственно сварочная головка - состоит из электродвигателя Б, механизма подачи проволоки В с правильным механизмом Г, токоподводящего мундштука Д, корректировочного механизма Е для направления головки по шву и трехкнопочного пульта управления Ж. Набор сменных шестерен механизма подачи позволяет изменить скорость подачи электродной проволоки от 28,5 до 225 м/ч. Узел Б - подвесной механизм - состоит из подъемного механизма ИЗ для подвески и вертикального подъема сварочной головки, флюсоаппарата 2 для подачи флюса в зону дуги и отсасывания неиспользованного флюса обратно в бункер (отсос ИО) и кассеты I с электродной проволокой. Узел С - представляет собой самоходную тележку ИИ, состоящую из электродвигателя ИД, от которого движение (через фрикционное устройство ИЗ, червячные передачи и одну сменную пару шестерен) передается бегункам тележки. Сменные шестерни позволяют изменить скорость перемещения тележки, т.е. ско-

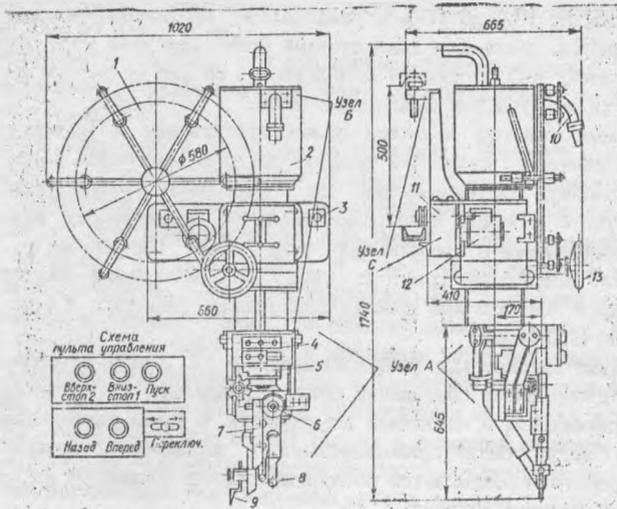


Рис.1. Автоматическая подвесная головка.

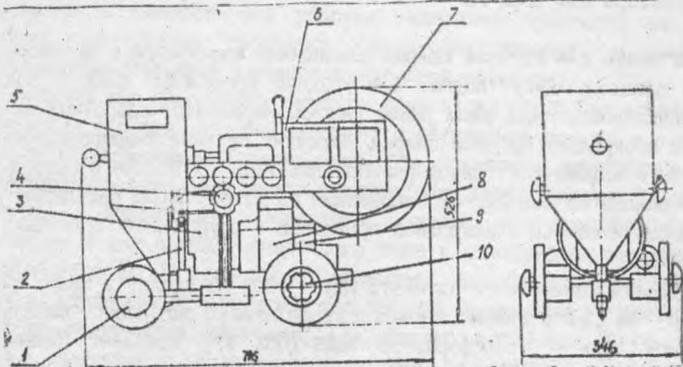


Рис.2. Общий вид сварочного трактора: 1-бегунок; 2-мундштук; 3-головка сварочная; 4-механизм корректировочный; 5-бункер для флюса; 6-кронштейн; 7-кассета; 8-двигатель; 9-механизм ходовой; 10-маховичок.

рость сварки, от ТЭЗ до ПЭМ/ч. Головка АБС предназначена для сварки стыковых, угловых и нахлесточных швов. При этом узлы, входящие в головку АБС, позволяют использовать ее как подвесную неподвижную (А и АВ) и как самоходную (АБС).

Сварочный трактор является более эффективным и маневренным сварочным аппаратом. Сварочный трактор представляет собой автоматическую головку, установленную на самоходной тележке, которая перемещается с помощью электродвигателя по свариваемому изделию или по специальному рельсовому пути вдоль свариваемого шва. Применяются сварочные трактора типа ТС конструкции Института электросварки АЭС или АДФ конструкции завода "Электрик" и типа УТ конструкции ШПИИТ.акад

Сварочный автомат АДФ-1002 предназначен для сварки переменным током под слоем флюса соединений встык с разделкой и без разделки кромок вертикальным и наклонным электродами, а также нахлесточных швов. Швы могут быть прямолинейными и кольцевыми. Автомат в процессе работы передвигается по изделию или по уложенной на нем легкой направляющей линейке.

Принцип работы универсального сварочного трактора АДФ-1002 УЗ

Автоматы для дуговой сварки плавящимся электродом в процессе работы зажигают дугу, подают электродную проволоку, флюс в зону дуги, поддерживают заданный режим сварки, перемещают сварочный аппарат и прекращают процесс сварки. Источник питания универсального сварочного автомата - трансформатор ТДФЖ-1002 УЗ. Подача электродной проволоки не зависит от напряжения на дуге, способ регулирования скорости подачи электродной проволоки - ступенчатый (сменными шестернями)

В состав сварочного автомата АДФ - 1002 УЗ входят: сварочный трактор со встречным блоком управления; источник питания сварочной дуги - трансформатор ТДФЖ-1002 УЗ; комплект сменных узлов и деталей, позволяющих производить сварку наклонным электродом "в лодочку" с разделкой и без разделки кромок; комплект проводов, необходимых для подключения автомата и трансформатора.

Схема управления автомата обеспечивает:

- подъем и опускание электродной проволоки при вспомогательных

операциях (закорачивание сварочной проволоки перед сваркой, подъем проволоки из шлака и др.);

- передвижение трактора при отключенной сварочной цепи;
- дистанционное включение сварочного тока и возбуждение дуги в начале сварки;
- подачу проволоки и передвижение трактора в процессе сварки;
- заварку кратера и отключение сварочного тока в конце сварки.

Управление работой трактора осуществляется с помощью кнопочного пульта. Перед началом сварки включается фрикционная муфта ходового механизма. Кнопками "вверх" и "вниз" закорачивается электрод на свариваемое изделие. Включение сварочной цепи и двигателя трактора производится кнопкой "Пуск". При нажатии кнопки "Пуск" включается цепь питания электродвигателя и двигатель начинает вращаться в направлении, соответствующем подъему электродной проволоки. Между изделием и электродной проволокой возбуждается сварочная дуга, начинается подача проволоки в зону сварки и движение автомата по свариваемому шву. Для окончания сварки необходимо нажать кнопку "Стоп". Автомат останавливается. Сварочная дуга в течение 1...2 с, в зависимости от настройки реле времени, продолжает гореть. По истечении этого времени автоматически отключается сварочный ток.

Трактор снабжен одним асинхронным двигателем, который приводит в движение оба рабочих механизма трактора: механизм подачи электродной проволоки (сварочную головку) и механизм перемещения сварочной установки (ходовой механизм).

Общий вид сварочного трактора показан на рис.2. Вал электродвигателя с одной стороны соединен с механизмом подачи, а с другой - с механизмом перемещения. Оба механизма смонтированы с двигателем в один блок, который служит корпусом трактора. На этом корпусе укреплены следующие узлы и приспособления: мундштук 2 для подвода сварочного тока к электродной проволоке и направления ее в зону дуги; крошитель, на котором смонтированы пульты управления 6, катушка с электродной проволокой 7; правый и левый корректировочные механизмы 4; бункер для флюса 5; переднее шасси трактора с холостыми бегунками 1; приборы для контроля режима сварки. Механизм подачи электродной проволоки состоит из редуктора с червячными и цилиндрическими зубчатыми передачами и двух роликов, подающих зажатую между ними проволоку. Один из роликов (приводной) снабжен поперечной несечкой для надежного

сцепления его с проволокой, а другой - прижимной (холостой) находится под действием пружины. Натяжение этой пружины, а следовательно, и тяговое усилие можно регулировать с помощью винта в довольно широких пределах.

Для настройки редуктора на нужную скорость подачи он снабжен парой сменных шестерен, выведенных наружу и закрытых крышкой.

Механизм движения трактора (ходовой механизм) состоит из редуктора со сменными шестернями для изменения скорости сварки и пары ведущих бегунков с резиновыми шинами. Для возможности свободного (маршевого) перемещения трактора вручную на валу бегунков предусмотрена фрикционная муфта с маховичками, с помощью которых вал можно отключить от электродвигателя.

Оборудование, инструменты.

1. Автомат сварочный АДФ-1002 УЗ.
2. Тренажер автоматической сварки под флюсом трактором типа ТС-17МУ.

Порядок проведения работы.

1. Изучение студентами теоретической части и содержания лабораторной работы с последующим контролем знаний.
2. Изучить устройство и принцип работы сварочного автомата АДФ-1002УЗ.
3. Изучить при помощи тренажера устройство сварочного трактора с постоянной скоростью подачи электродной проволоки типа ТС-17МУ.
4. Изучить при помощи тренажера порядок подготовки трактора к сварке. Для этого необходимо:
 - установить переключатель поперечной корректировки проволоки в среднее положение (должна погаснуть лампа графического изображения непровара правой кромки стыка);
 - прижать прижимной ролик проволоки к подающему (включить тумблер, загорится лампа под изображением мундштука);
 - засыпать флюс в бункер (включить тумблер, загорится лампа на изображении бункера);
 - захватить фрикцией ведущего колеса трактора (включить тумблер, за-

горят шесть ламп на изображении колеса);
- нажать кнопку "Вниз" (загорится две лампы на графическом изображении проволоки после выхода из мундштука);
- открыть шибберную вилку (включить тумблер),
6 Изучить при помощи тренажера порядок включения трактора для сварки. Для этого необходимо:

- нажать кнопку "Пуск" и держать ее нажатой 1-2 сек (загорится лампы "1000" на амперметре и "0" на вольтметре);
- отпустить кнопку "Пуск" (загорится две лампы на приборах в зависимости от предварительной настройки на ток и напряжение),

6 Изучить при помощи тренажера порядок остановки трактора после сварки. Для этого необходимо:

- нажать кнопку "Стоп 1" (загорится лампа "Кратер заварки" на табло "Возможные результаты сварки");

- нажать кнопку "Стоп 2", погаснут лампы индикации рабочего состояния трактора (на табло "Возможные результаты сварки" будут гореть лампа "Качественный шов", если настройка на режим сварки по току, напряжению и скорости сварки была выполнена в соответствии с исходными данными).

7 Изучить влияние отдельных параметров режима сварки на возможные результаты. Результаты режимов сварки занести в таблицу I.

Таблица I.

Возможные результаты сварки

Режим сварки

Результаты автоматической сварки

Толщина детали 1-3мм, диаметр сварочной проволоки 4мм,

$I = 550A$, $v_{св} = 40.5m/час$,
 $U = 34 В$.

Толщина детали $t = 10mm$, диаметр
сварочной проволоки $5mm$,
 $I_a = 720A$, $U = 38 В$, $v_{св} = 69.7m/час$,

Толщина детали $t = 6 mm$, диаметр
сварочной проволоки $3mm$, $I_a = 1000A$,
 $U = 38В$, $v_{св} = 40,1m/час$.

Толщина детали $t = 10mm$, диаметр
сварочной проволоки $4mm$, $I_a = 720A$,
 $U = 36В$, $v = 69.7m/час$, сварка выпол-
няется без флюса (шланговая зас-
лонка закрыта).

Состав отчета.

Отчет о работе должен содержать:
наименование работы, цель работы, краткие теоретические
сведения, описание конструкции сварочного трактора АДЗ-
1002 и таблицу возможных результатов сварки в зависимо-
сти от режимов сварки, выводы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

Прочность сварных соединений.

Цель работы: изучить влияние технологических и конструктивных факторов на прочность сварных соединений.

1. Существуют понятия технологической прочности, расчетной прочности, конструктивной прочности.

Конструктивная прочность - это способность изделия сопротивляться наступлению тех предельных состояний, которые прекращают его нормальную эксплуатацию. Они определяются в результате экспериментальных исследований при определенных свойствах материала, заданных нагрузках, условиях испытаний и определенной технологии изготовления.

Расчетная прочность определяется теоретическими методами с использованием экспериментальных характеристик материала, аппарата сопротивления материалов, теории упругости, пластичности и т. д. и она устанавливает способность конструкции сопротивляться наступлению предельных состояний, которые прекращают ее нормальную эксплуатацию.

Технологическая прочность в понятии, примененном к сварным соединениям, это способность их сопротивляться появлению горячих и холодных трещин, которые возникают в процессе сварки, охлаждения и выдерживания сварных конструкций под влиянием сварочных деформаций и напряжений.

2. Методы оценки сопротивляемости горячим трещинам.

Горячие трещины образуются при температурах выше 800°C и представляют собой межкристаллические разрушения, происходящие при кристаллизации или после нее вследствие вязкопластических деформаций. Поверхность излома горячих трещин матово-желтого цвета, которая при окислении покрывается оксидами коричнево-то-синеватого цвета. Горячие трещины возникают в сварных швах, в зоне сплавления с основным металлом соединения вдоль и поперек шва. При сварке кристаллизующийся металл шва подвергается растяжению вследствие несвободной усадки зоны сварки. Под действием растягивающих напряжений сварной шов деформируется и, при не-

достаточной пластичности его материала, разрушается.

Экспериментальными исследованиями установлено, что пластичность металлов и сплавов в определенном интервале температур между температурными линиями солидуса и ликвидуса весьма мала. Этот интервал получил название ТИХ-температурного интервала хрупкости. Величина пластичности снижается в этом интервале до 0,1-0,5%. Существенное влияние на линии солидуса и ликвидуса оказывает химический состав сплава. Существенно снижает сопротивляемость стали горячим трещинам присутствие серы, образующей FeS и FeS₂ с температурами плавления 1193°С и 682°С. Поэтому в сварочной проволоке серы не должно быть более 0,015% и следует ограничивать участие основного металла в образовании сварного шва. Некоторые сплавы могут иметь несколько интервалов ТИХ.

Для оценки сопротивляемости образованию горячих трещин применяют машинные и технологические методы испытаний. При машинных испытаниях материала шва и зоны сплавления деформируют внешней нагрузкой в процессе наложения сварного шва на образец (рис. 1), закрепленный в захватах установки. При испытаниях серий образцов режим сварки сохраняют постоянным, а скорость деформации меняют. Целью испытаний является определение минимальной скорости деформации образцов, при которой появляются трещины. Значение данной скорости деформации принимают за сравнительный показатель сопротивляемости металла образованию горячих трещин.

При технологических методах испытаний изготавливают из испытываемого материала стандартные образцы (рис. 1), при сварке которых по определенной технологии возникают высокие градиенты высокотемпературных деформаций, приводящих к появлению горячих трещин. Показателями сопротивляемости металла шва и зоны сплавления являются: длина трещин, их площадь, периодичность трещин, критическая скорость сварки и т. д.

Сопротивляемость образованию горячих трещин при сварке можно определить по показателю К. Итамурэ при известном химическом составе материала шва и зоны сплавления:

$$HCS = \frac{C[S+P+Si/25+Ni/100] \cdot 10^3}{3Mn + Cr + Mo + V} \quad (1)$$

При HCS < 4 горячие трещины в сварных соединениях углеродистых и

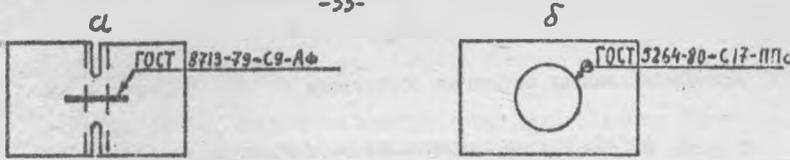


Рис.1. Схемы образцов для определения сопротивления возникновению горячих трещин: а-машинные испытания, б-технологические испытания

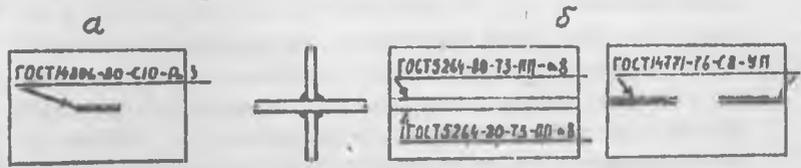


Рис.2. Схемы образцов для испытания сопротивлений возникновению холодных трещин: а - машинные испытания, б-технологические испытания

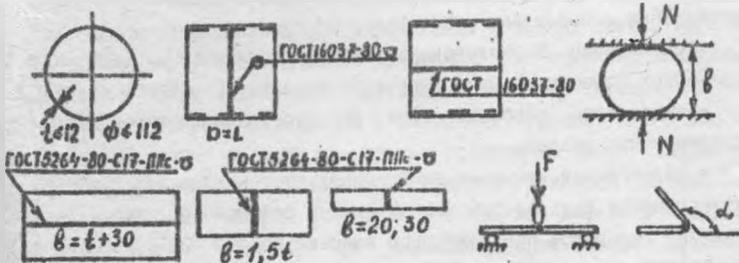


Рис.3. Образцы и схемы испытаний стыковых сварных соединений на статический изгиб

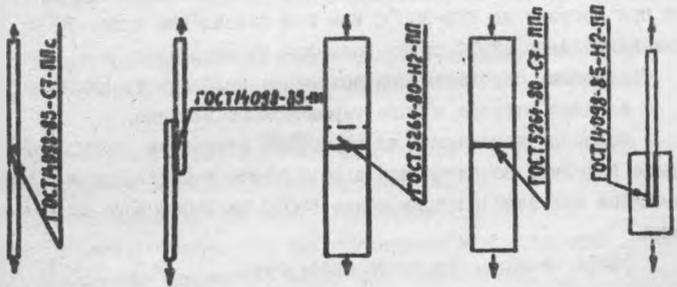


Рис.4. Образцы для испытаний сварных соединений при проверке квалификации сварщика, технологии сварки

низколегированных сталей не образуются.

3. Методы оценки сопротивляемости холодным трещинам

Холодные трещины возникают в металле сварного шва и в зоне термического влияния и ориентированы параллельно оси шва или перпендикулярны к ней. Трещины могут быть закрытыми в массе металла и выходить на его поверхность. Кристаллический излом трещин блестящий. Наиболее характерно появление холодных трещин для сталей в тех случаях, когда металл под действием термического цикла закаливается. Эти процессы характерны для легированных сталей и являются результатом действия остаточных сварочных напряжений.

Холодные трещины могут появляться как причины следующих процессов:

- мартенситного превращения аустенита среднелегированных мартенситных и перлитных сталей;
- скоплением в околошовных зонах неметаллических включений в элементах полосохвостой микроструктуры перлитно-ферритных сталей;
- выделением карбонитратных фаз по границам зерен в хромистоферритных сталях;
- сегрегацией примесей на границах аустенитных зерен у низкоуглеродистых среднелегированных сталей бейнитного класса при насыщении водородом при повторном нагреве до 400-700°C при сварке.

Уровни напряжений, при которых появляются холодные трещины, соответствуют уровню остаточных сварочных напряжений. Появление холодных трещин возможно сразу после сварки и в течение 2-25 суток после сварки. Склонность к образованию холодных трещин исчезает при нагреве до 200-300°C или при охлаждении ниже -70°C. Но после нагрева до +20°C снова возможно их появление.

Факторами, определяющими появление холодных трещин являются:

- закалка металла в зоне термического влияния;
- водород, поглощаемый из атмосферы сварочной дуги или из металла изделия, появившийся в результате термодиффузии и превращающийся при температурах менее 200°C из атомарного в молекулярный;
- растягивающие сварочные напряжения.

Международным институтом электросварки рекомендована формула, оценивающая склонность сталей к образованию холодных трещин в зависимости от их вакуируемости, определяемой по эквивалентному содержанию углерода:

$$C_e = C + Mn/6 + Cr/5 + Mo/5 + V/5 + (Ni + Cu)/15. \quad (2)$$

Считают, что при $C_e \leq 0,15$ сталь не склонна к образованию холодных трещин. Показателем, указывающим на охрупчивание стали вследствие структурных превращений, является твердость зоны термического влияния. Твердость зоны термического влияния для малоуглеродистых и нивколегированных сталей определяют по химическому составу по формуле:

$$HV_{max} = 90 + 1050C + 47Si + 75Mn + 30Ni + 31Cr. \quad (3)$$

Для вышеуказанных сталей твердость не должна быть выше HV 360. Для оценки сопротивляемости образованию холодных трещин выполняют машинные и технологические испытания. При машинных испытаниях образцы после сварки нагружают плавно постоянной нагрузкой в процессе охлаждения в интервале температур 160-100°C. Время нагружения образца постоянным усилием 20 часов. Показателем сопротивляемости холодным трещинам является минимальное напряжение, при котором в образце без видимых дефектов сварного шва появляются трещины. При технологических методах испытаний сваривают образцы определенной формы. Выдерживают их при нормальной температуре 20 часов. Визуально обнаруживают холодные трещины. В образцах неразрушившихся трещины определяют металлографическими исследованиями или неразрушающими методами контроля.

4. Конструкционная прочность сварных соединений строительных конструкций

Возможность нормальной эксплуатации сварных конструкций обеспечивается конструкционной прочностью.

Конструкционная прочность гарантируется:

- проектированием сварных соединений и конструкций в соответствии с действующими нормативными документами;
- мероприятиями по подготовке деталей и углов сварных сое-

динений к сварке в соответствии с действующими ГОСТами;

- обеспечением нормальной технологии сварочных работ;
- контролем качества сварных соединений и конструкций.

а основными нормативными документами, используемыми при проектировании строительных конструкций являются СНиП II-23-81^{*}. Стальные конструкции, СНиП 2.03.06-85. Алюминиевые конструкции, Пособие по расчету и конструированию сварных конструкций (к главе СНиП II-23-81^{*}) и соответствующие СНиП по проектированию мостов, труб и т. д. Следует отметить, что в перечисленных документах возможность нормальной эксплуатации сварных соединений обеспечивается расчетом по теории предельных состояний и соответствующими правилами конструирования.

Для сварных соединений арматуры и закладных деталей, применяемых в железобетонных конструкциях использован принцип равнопрочности сечений сварного соединения и сечений изделия по основному металлу, обеспечивающий разрушение при напряжениях не ниже предела прочности по временному сопротивлению основного металла.

б. Мероприятиями по подготовке деталей и узлов к сварке являются: разделка кромок свариваемых элементов механически или газопламенным методом; отбортовка кромок; установка деталей перед сваркой в соответствующую позицию с определенными зазорами, углами; контроль геометрических размеров сварных швов с целью выявления недопустимых отклонений. Выполнение этих мероприятий начинается на стадии проектирования и указывается их необходимость на чертежах КМ, КМД соответствующими условными обозначениями соединения.

Пример обозначения шва

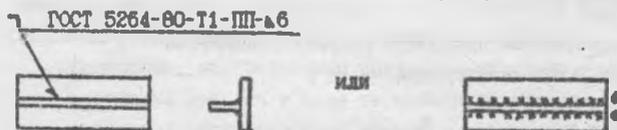


Рис. 5. Монтажный шов таврового соединения с катетами 6мм, выполненный плавящимся электродом ручной сваркой с несквозным проплавлением и формированием.

в. Нормальная технология сварочных работ частично обеспечи-

вается на этапах, рассмотренных выше.

На данном этапе выполнены окончательный выбор сварочных материалов: по типу электрода и марке стали выбирают марку электродов и т. д. Устанавливают режимы сварки и соответствующее сварочное оборудование. Обеспечивают перед процессом сварки соответствующие условия: температуру, влажность, отсутствие сквозняков, очистку кромок от грязи, влаги, при необходимости ржавчины. Сварку ведут сварщики соответствующей квалификации.

Для контроля сварочных материалов и технологии сварки выполняют технологические пробы и механические испытания образцов.

Сварщик на месте работы проходит испытания в условиях, тождественных с теми, в которых будет выполняться сварка конструкций. Для чего выполняется сварка серии образцов, которые доводятся до разрушения.

Выполняют следующие испытания сварных соединений:

1. Статическое растяжение для определения пределов текучести, временного сопротивления, относительного удлинения, сужения после разрыва.

2. Испытания на статический изгиб для определения предельной пластичности по углу загиба для листов или величине прогиба после сдавливания труб до появления трещин в растянутой зоне.

3. Испытание на ударный изгиб для определения ударной вязкости металла шва и зоны термического влияния.

4. Измерение твердости металла шва и зоны термического влияния.

Контроль качества сварных соединений и конструкций и методы испытаний пункта "в" регламентируются СНиП II-18-75 "Правила производства и приемки работ. Металлические конструкции"

5. Методика выполнения работы.

5.1. Оборудование, инструмент, материалы.

1. Образцы для проведения испытаний на статическое растяжение.

2. Рваривная машина, пресс.

3. Измерительный инструмент: штангенцикуль, транспортир.

5.2. Порядок проведения работы

1. По заданному химическому составу образцов определить по формуле (1) сопротивление образованию горячих трещин.

2. По формулам (2) и (3) определить склонность к образованию холодных трещин.

При склонности к холодным трещинам определить температуру предварительного подгрева свариваемого изделия по формуле

$$T = 350 \sqrt{C_{0,5} - 0,25}, \quad (4)$$

$$C_{0,5} = C_{0,5} (t + 0,005 t), \quad (5)$$

где: t - толщина элемента.

3. Выполнить испытание на статическое растяжение с целью проверки квалификации сварщика, сварочных материалов. Предварительно следует измерить сечение образца, выполнить его эскиз, нарисовать схему испытаний.

Испытание имеет отрицательный результат если:

а) Разрушающая нагрузка $N \leq R_{\text{нп}} \cdot A_n$

где: $R_{\text{нп}}$ - нормативное временное сопротивление металла сваренного образца, A_n - площадь сечения образца по основному металлу,

б) При наличии в изломе сварного шва или зоны термического влияния горячих или холодных трещин.

4. Выполнить испытание для контроля пластичности стыкового сварного соединения листа или трубы с поперечным или продольным швом. Испытание плоского образца выполняется до нормированного угла $\alpha = 120^\circ\text{C}$ для малоуглеродистой стали и $\alpha = 100^\circ\text{C}$ для низколегированной или до появления первой трещины в растянутой зоне с фиксацией угла изгиба до снятия нагрузки. Пластические свойства металла шва определяют при изгибе вдоль шва. Различия в пластичности металла шва, зоны термического влияния и основного металла определяют при изгибе поперек шва. Испытания сварного соединения труб диаметром менее 100мм и стенкой не более 12мм ведут на сплющивание до величины просвета между стенками равной двойной толщине стенки или установленного проектной документацией.

Состав отчета.

Наименование работы. Краткие теоретические сведения, сформулированные по каждому пункту раздела б цели, результаты с необходимыми эскизами и расчетами и выводы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6

Сварочные деформации и перемещения.

Цель работы: изучить механизм появления сварочных деформаций и перемещений, их виды, метод расчета сварочных деформаций, способы уменьшения и устранения сварочных деформаций.

1. Основные сведения о сварочных деформациях и перемещениях.

В процессе сварки металл сварного соединения и электрода плавится под действием концентрированного источника тепла - дуги, газового пламени и т. д. При дуговой сварке объем расплавленного металла относительно невелик и составляет 4-60 куб. см. Расплавленный металл до начала кристаллизации существует всего несколько секунд. Длину сварной ванны можно определить по формуле (1)

$$L = P \cdot U_{дл} \cdot I; \quad (1)$$

где $U_{дл}$ - напряжение дуги (В);

I - ток (А);

$P = (1,7 - 2,3) 10^{-3}$ мм/Вт.

Ширина сварочной ванны составляет два-четыре диаметра электрода, а глубина проплавления свариваемых элементов $2 \div 4$ мм.

Локальный перемещающийся источник тепла, сварочная ванна с расплавленным металлом и ее кратковременным существованием, вызывают неравномерный нагрев сварного соединения. Расширение сварного шва и прилегающей к нему зоны от нагрева и сокращение от охлаждения, а также структурные превращения образуют собственные деформации и напряжения при сварке. В значительной степени это объясняется тем, что модули упругости и сдвига значительно снижаются с повышением температуры. Предел текучести низкоуглеродистой стали при достижении температуры 600°C снижается примерно на порядок и при дальнейшем возрастании температуры стремится к нулю. Это и объясняет в основном появление локальных пластических деформаций в сварном шве и прилегающих к нему зонах.

Металл сварочной ванны и зоны термического нагрева пластически деформируется вследствие сжатия при нагреве, так как его окружают массы более холодного металла. После полного охлаждения сварной шов и прилегающие к нему зоны получают остаточное укорочение. Оно и приводит к изменению формы и размеров сварного соединения (рис. 1).

Абсолютное укорочение ΔW зоны пластического деформирования пропорционально ее размерам.

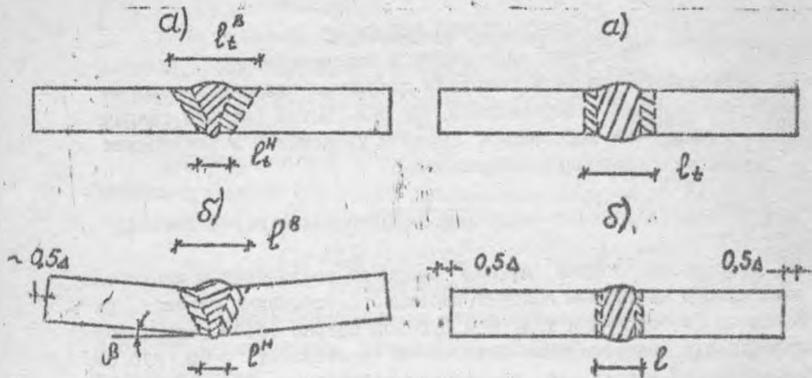


Рис. 1. Изменение формы и размеров несимметричного и симметричного сварных соединений в процессе сварки: а) момент начала кристаллизации сварочной ванны; б) нормальная температура соединения l - длина зоны пластического деформирования

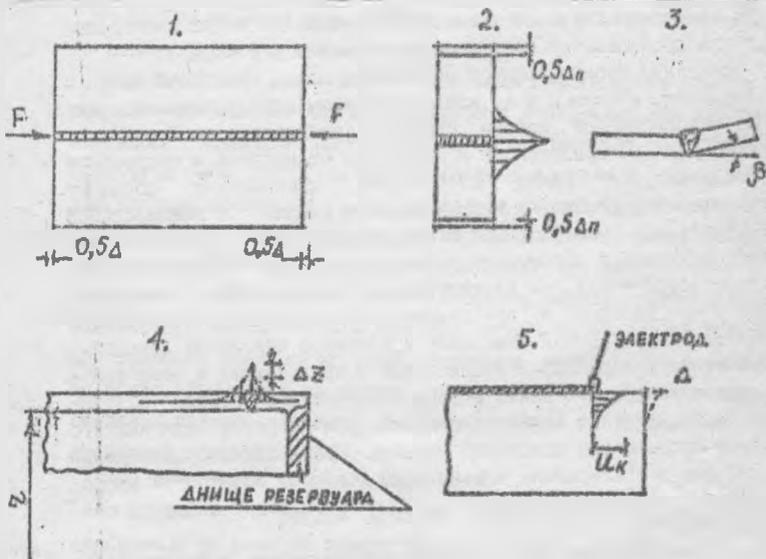


Рис. 2. Виды перемещений и деформаций при сварке

Из этого следует:

а - абсолютное значение ΔW возрастает с увеличением зоны пластической деформации, которая определяется объемом наплавленного металла;

б - при симметричном расположении наплавленного металла относительно центра тяжести сечения свариваемого элемента изменяются только его линейные размеры вследствие поперечных и продольных усадок зоны пластического деформирования;

в - при несимметричном расположении наплавленного металла относительно центра тяжести свариваемого элемента происходит изменение его формы вследствие изгиба и угловых деформаций.

Деформации и перемещения в зоне сварного соединения классифицируются следующим образом (рис. 2):

1. Продольные остаточные пластические деформации вдоль сварного шва, создающие условную усадочную силу.

2. Равномерные по толщине поперечные остаточные пластические деформации, дающие поперечную усадку.

3. Неравномерные по толщине пластические деформации, образующие угловые перемещения.

4. Перемещения в зоне шва в направлении перпендикуляра к поверхности свариваемых листов.

5. Сдвиговые деформации, которые образуют в сварном соединении смещения вдоль шва.

2. Определение общих деформаций в сварном тавровом элементе.

После сварки продольного поясного шва или швов в тавровом элементе возникает условная усадочная сила F , которая создает его укорочение Δ . Усадочная сила приложена в центре тяжести сечения наплавленного металла. Так как усадочная сила приложена с эксцентриситетом относительно центра тяжести сечения тавра, то возникает изгибающий момент M , который изгибает тавровую балку (рис. 3).

Основные обозначения и формулы

b - длина тавровой балки; b_f - ширина полки; t_f - толщина полки; $h_{тав}$ - высота стенки тавра; k_f - высота катета сварного шва; t_w - толщина стенки тавра; A_w - площадь наплавленного металла шва; F_1 - усадочная сила при однопроводной сварке одного поясного шва; A - площадь сечения тавра; e - эксцентриситет приложения силы; F_2 - усадочная сила при однопроводной сварке двух поясных швов; q - тепловая мощность дуги; q_w - погонная энергия сварки; η - к. п. д. процесса нагрета; I - ток сварки (А); U_d - напряжение дуги; V - скорость

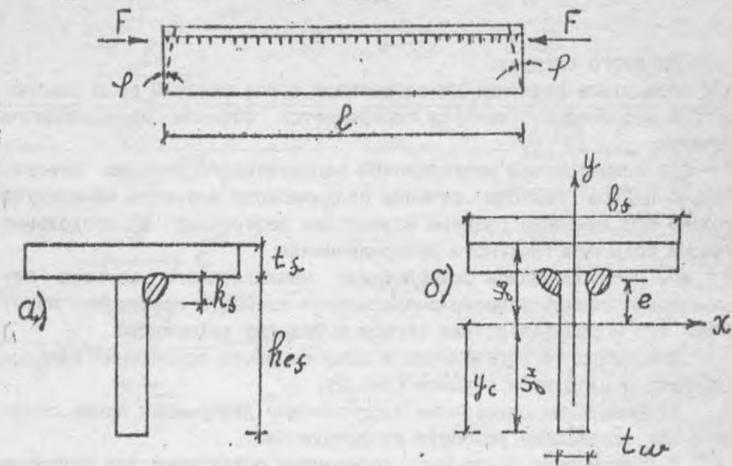


Рис. 3. Обра тавровых соединений:
а- №1, б- №2.



Рис. 4. Угловая деформация полки тавра.

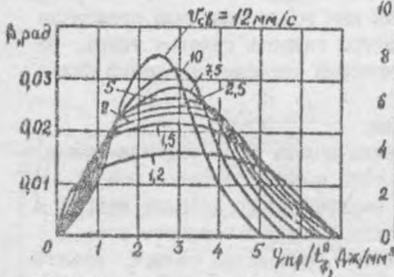


Рис. 5. Номограмма для определения угловой деформации при сварке встык и втавр.

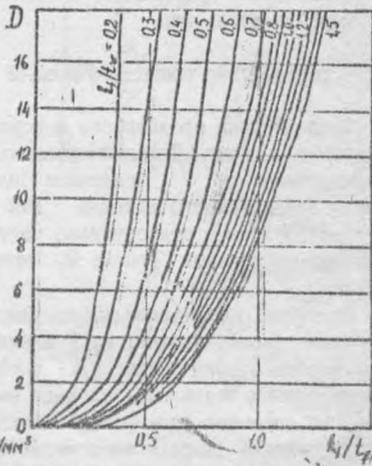


Рис. 6. Номограмма для определения коэффициента D.

сварки; $B = 170 \text{ Дж/мм}$ - коэффициент для определения погонной энергии для сварки стали.

Q_v - для различных способов сварки.

Виды сварки	Сварочные материалы	$Q_v \text{ Дж/мм}$
Ручная электродуговая	Электроды:	
	УОНИИ 13/45	65
	48Н - 1	46
Полуавтоматическая в CO_2	Св-08ГС	38
Автоматическая и полуавтоматическая под флюсом	Проволока Св-08А, флюс ОСЦ-45	65

$$\text{Усадочные силы: } F_1 = q_n \cdot B(H); F_2 = (1,3 + 1,44) \cdot F_1 \text{ (Н);} \quad (2,3)$$

$$\text{Погонная энергия сварки: } q_n = Q_v \cdot A_w; q_n = q/V; \quad (4,5)$$

$$\text{Тепловая мощность дуги: } q = \eta \cdot I \cdot U_d; \quad (6)$$

$$\text{Продольное укорочение балки: } \Delta = F \cdot \ell / E \cdot A; \quad (7)$$

$$\text{Прогиб балки: } f = F \cdot \ell^2 / 8E \cdot J; \quad (8)$$

$$\text{Угловой поворот концов балки: } \varphi = F \cdot \ell^3 / 6E \cdot J; \quad (9)$$

Положение центра тяжести тавра:

$$y_c = [b_f \cdot t_f \cdot (h_{ef} + 0,5t_f) + 0,5 \cdot h_{ef}^2 \cdot t_w] / A; \quad (10)$$

Эксцентриситет приложения усадочной силы:

$$e = h_{ef} - y_c - 0,4 \cdot t_f; \quad (11)$$

$$\text{Изгибающий момент в тавре: } M = F \cdot e; \quad (12)$$

Момент инерции тавра:

$$J = h_{ef}^3 \cdot t_w / 12 + (y_c - 0,5 \cdot h_{ef})^2 \cdot h_{ef} \cdot t_w + (0,5t_f + h_{ef} - y_c)^2 \cdot t_f \cdot b_f; \quad (13)$$

При сварке продольных швов в балке таврового сечения кроме продольного укорочения балки и ее прогиба возникают угловые деформации (рис. 4), которые складываются из деформаций изгиба полки β вследствие неравномерного поперечного сокращения металла по толщине полки и поворота полки тавра ω как жесткого целого в результате усадки шва в направлении гипотенузы.

При односторонней однопроходной сварке деформация изгиба полки β_1 (рис. 4) определяется по номограмме (рис. 5) в зависимости от отношения $q_n \ell / t_f^2$. При $t_f = t_w$ погонная энергия, вводимая в полку $q_n \approx 2/3 q_n$.

При односторонней двухсторонней сварке тавровых соединений деформация изгиба полки β (рис. 4) вычисляется по формуле:

$$\beta_{(1+2)} = 2\beta_1 + \beta_2; \quad (14)$$

где $\beta_{1,2}$ - деформация изгиба от усадки катета шва;
 ϵ_T - относительная деформация, соответствующая пределу текучести металла шва;
 D - коэффициент, определяемый по номограмме (рис. 6) в зависимости от величины катета шва k_f , толщины полки t_f и стенки t_w .

Угол поворота полки тавра w зависит от предварительного закрепления полки со стенкой. Если они предварительно сварены ниточным швом, углом w можно пренебречь. Если элементы балки собраны на прихватках, угол поворота полки от одностороннего одностороннего шва

$$w = -\alpha \cdot T_x \cdot m = 0,0008X, \quad (15)$$

где α - коэффициент линейного расширения; T_x - $750 \div 800^\circ C$ - для низкоуглеродистых и низколегированных сталей; $m = 0,7$ - коэффициент, учитывающий сопротивление изгибу сборочных швов; X - расстояние от начала шва до сечения, где определяется угловая деформация.

Угол поворота принимается отрицательным, когда соответствующая половина полки пригибается к стенке.

Суммарная угловая деформация полки выражается через углы поворота γ_{11} и γ_{21} левой и правой половин полки относительно их исходных положений

$$\gamma_{11} = -w_1 - \beta_1/2, \quad \gamma_{21} = w_1 - \beta_1/2. \quad (16)$$

3. Методы уменьшения деформаций и перемещений от сварки.

а) На стадии проектирования:

- проектируют минимальные объемы наплавленного металла;
- используют способы сварки с минимальным тепловложением (многопроходная вместо односторонней);
- конструкцию проектируют с поперечным сечением и швами так, чтобы моменты от усадочных сил были уравновешены.

б) На стадии разработки технологии:

- используют приспособления для сборки и закрепления свариваемых элементов;
- назначают размеры заготовок с учетом усадки от сварки;
- создают перемещения в заготовках, противоположные перемещениям при сварке;
- применяют искусственное охлаждение в зоне сварки с целью уменьшения зоны пластических деформаций;
- создают с помощью специальных установок напряжения растяжения для уменьшения усадочной силы;

в) Осуществляют правку сваренных элементов:

- используют механическую правку, создавая пластические деформации удлинения: гибку, растяжение, прокатку, вибрацию, прокатку, статическое осаживание металла по толщине под прессом;

- применяют термические способы, основанные на соединении пластических деформаций необходимого знака: местные нагревы вне зон пластических деформаций от сварки, создавая деформации укорочения. Общий нагрев деталей при отпуске с закреплением элементов, создавая выпрямление в печи.

Оборудование, инструмент, материалы.

1. Тавровые балки с односторонним и двусторонним поясными швами.
2. Измерительный инструмент для измерения и регистрации прогиба и угловых деформаций.

4. Порядок выполнения работы.

1. Изучить по методическим указаниям основные теоретические положения.
2. Измерительным инструментом определить размеры элементов сечений, прогибы, длины балок N1 и N2, а также катеты сварных швов k_s .
3. Определить геометрические характеристики сечений балок N1 и N2 по формулам раздела 2.
4. Определить площади сечений наплавленного металла A_w .
5. Определить погонную энергию сварки q_w по формуле (4) и усадочные силы F_1 и F_2 по формулам (2) и (3).
6. Определить продольные укорочения Δ по формуле (7), прогибы балок f по формуле (8), углы поворота γ_{11} и γ_{21} по формулам (16).
7. Сравнить полученные значения $\Delta, f, \gamma_{11}, \gamma_{21}$ с измеренными.
8. Сравнить остаточные прогибы тавровых балок с допустимыми и дать заключение о необходимости и способе правки.
9. Сформулировать выводы по лабораторной работе.

Состав отчета.

Отчет о работе должен содержать: наименование работы, цель работы, краткие теоретические сведения, результаты измерений и вычислений геометрических параметров сечений, перемещений и деформаций тавровых балок, их сравнение, выводы.

Составители:

Вячеслав Игнатьевич Драган
Анатолий Викторович Мухин
Сергей Михайлович Дяликов

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторным работам по дисциплине "Сварочные работы в строительстве и основы технологии металлов" для студентов специальности 2903 "Промышленное и гражданское строительство".

Ответственный за выпуск Драган В.И.
Редактор Строкач Т.В.

Подано к печати 14.05.16. Серват 60х84/16.
Бумага офсетная. Усл.п.л. 2,6.
Уч. л. 2,8. Тираж 300 экз. Заказ № 406.
Бесплатно. Отпечатано на ротационной машине
полиграфического института. 224017, Брест
ул. Московская, 267.