

Министерство образования и науки Украины
Донбасская государственная машиностроительная академия (ДГМА)

ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ СПЕЦИАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ

Методические указания к практическим работам

для студентов специальности 7.092301
«Технология и оборудование сварки»
всех форм обучения

Утверждено
на заседании
методического совета
Протокол № 8 от 18.06.2015

Краматорск
ДГМА
2015

УДК 621.791

Технология сварки специальных сталей : методические указания к практическим работам для студентов специальности 7.092301 «Технология и оборудование сварки» всех форм обучения / сост. А. Ф. Власов. – Краматорск : ДГМА, 2015. – 28 с.

Методические указания содержат общие требования к проведению практических работ, цель работ, краткие теоретические сведения, методику выполнения работ и требования к отчету.

Составитель

А. Ф. Власов, доц.

Отв. за выпуск

Н. А. Макаренко, проф.

СОДЕРЖАНИЕ

Общие сведения	4
Практическая работа 1. Определение структурного состояния металла шва расчетным методом при сварке высокопрочных сталей	5
Практическая работа 2. Определение структурного состояния и механических свойств металла зоны термического влияния расчетными методами	11
Практическая работа 3. Определение механических свойств металла сварного соединения расчетными методами	16
Практическая работа 4. Определение химического состава и структурного состояния металла шва при сварке жаропрочных аустенитных сталей расчетно-графическим методом.....	21
Список рекомендованной литературы	24

1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Основным направлением развития сварных крупногабаритных металлоконструкций является снижение их веса при условии обеспечения требуемой эксплуатационной надежности. Успехи металловедения, металлургии и сварочной технологии открывают широкие возможности этого развития путем использования сталей повышенной и высокой прочности и со специальными свойствами. Многие сварные конструкции, выпускаемые химическим, энергетическим и криогенным машиностроением, а также строительные сварные конструкции работают в условиях коррозии и кавитации, под действием высоких и низких температур, нейтронного облучения и т.д. Из высокопрочных и специальных сталей изготовлены и успешно эксплуатируются крупнейшие листовые конструкции - цилиндрические и сферические резервуары, котлы, спиральные турбинные камеры, теплообменники, химическое оборудование и др.

Технология сварки этих изделия определяется, с одной стороны, конструктивными особенностями изделия и серийностью его производства, а с другой - условиями работы изделия и выбранным для его изготовления материалом.

Применение расчетных методов определения структурных составляющих металла шва и около шовной зоны и механических свойств сварного соединения, предлагаемых некоторыми авторами [1- и др.) позволяет оптимизировать химический состав металла шва и параметры режимов сварки, а, следовательно, запрограммировать эксплуатационную надежность сварных соединений.

Целью настоящего курса является изучение металлургических и технологических особенностей сварки плавлением специальных и высокопрочных сталей и сплавов, обеспечивающих высокую технологическую прочность и работоспособность сварных соединений.

Занятия проводятся в аудитории согласно расписанию. Студент обязан заранее изучить методическое руководство к выполнению практической работы и повторить лекционный материал по теме работы, чтобы быть готовым отвечать на вопросы для самопроверки.

В начале занятия преподаватель контролируют готовность студентов к выполнению работы. Неподготовленные студенты к выполнению практической работы не допускаются.

Отчет составляется студентами в процессе выполнения работы и предъявляется преподавателю не позже, чем на следующем занятии. Студенты, не защитившие предыдущую работу без уважительной причины, не допускаются к выполнению очередной работы. Работа считается выполненной после собеседования и подписания отчета преподавателем.

Отчет по работе оформляется на листах формата А4 и подшивается в одну тетрадь, которая хранится у студента до окончания всех работ и сдается преподавателю на зачете в конце семестра.

Число работ по курсу и количество часов, отводимое для выполнения каждой работы, назначается кафедрой.

Темы практических занятий

№ п/п	Название работы	Кол-во часов
1	Определение структурного состояния металла шва расчетным методом при сварке высокопрочных сталей.	2
2	Определение структурного состояния и механических свойств металла зоны термического влияния расчетными методами.	2
3	Определение механических свойств металла сварного соединения расчетными методами	3
4	Определение химического состава и структурного состояния металла шва при сварке жаропрочных аустенитных сталей расчетно-графическим методом	2
Всего часов		9

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1

Цель работы - определение структурного состояния металла шва расчетным методом при сварке высокопрочных сталей.

1.1 Краткие теоретические сведения

Работоспособность сварного соединения в значительной мере зависит от структурного состояния металла шва, которое в свою очередь определяется химическим составом электродного металла, параметрами режима сварки; долевым участием основного и электродного металлов в формировании шва, скоростью охлаждения сварного соединения.

Температурный режим сварного соединения оказывает наибольшее влияние на все участки сварного соединения. Чрезмерно высокая погонная энергия сварки приводит к образованию крупнозернистой структуры с низкими показателями ударной вязкости. Нижний предел допустимой величины погонной энергии может значительно снизить пластичность сварного соединения и сопротивляемость образованию холодных трещин.

Структурное состояние металла шва и околошовной зоны определяется скоростью охлаждения сварного соединения в интервале температур 600 ---500 °С (температура наименьшей устойчивости аустенита).

Расчет скоростей охлаждения околошовного участка зоны термического влияния для сварки листов встык в один проход выполняется по уравнению

$$W_{\text{охл}} = 2\lambda \pi c \rho \frac{(T - T_0)^3}{q / (V_{\text{св}} \cdot \delta)^2},$$

где λ - коэффициент теплопроводности, $\lambda = 0,38 - 0,42$ Вт/см · °С;

$c \cdot \rho$ - объемная теплоемкость, $c \cdot \rho = 4,9 - 5,2$ Дж/см³ · °С;

T_0 - начальная температура или температура подогрева;

T - текущее значение при сварке, $T = 600 - 500$ °С (температура наименьшей устойчивости аустенита);

q - тепловая мощность дуги; $q = \eta_{\text{и}} \cdot U \cdot I$, где $\eta_{\text{и}} = 0,65$;

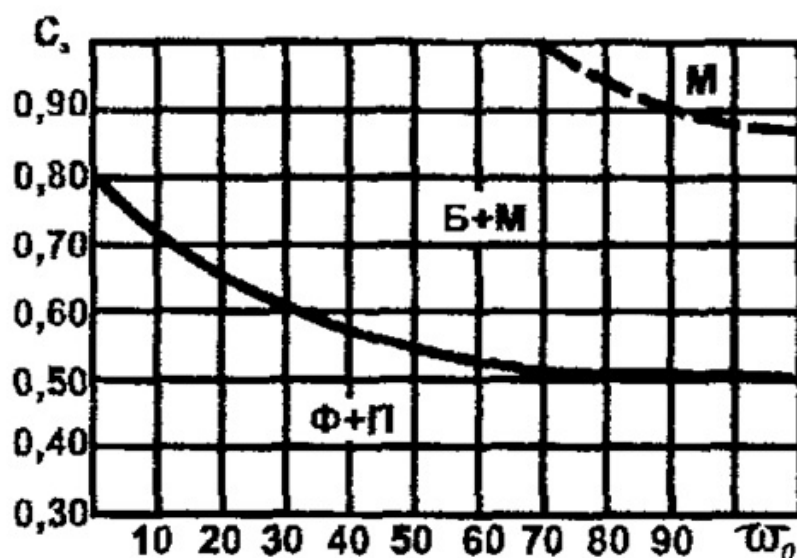
$\eta_{\text{и}}$ - эффективный к.п.д. нагрева способа сварки;

$V_{\text{св}}$ - скорость сварки, см/с;

δ - толщина металла, см.

Полученное значение скорости охлаждения сравнивают с допустимой скоростью охлаждения и, если действительная скорость охлаждения металла наплавки на принятом режиме окажется выше верхнего предела допустимых скоростей, то решается вопрос о применении предварительного подогрева.

Для определения структуры металла швов низколегированных сталей может использоваться диаграмма, построенная на основе экспериментальных данных (рис.1)[1].



ω_0 - скорость охлаждения, град/с

Рисунок 1 - Структурная диаграмма для металла сварных низколегированных швов

По осям координат диаграммы откладывается скорость охлаждения металла шва ω_0 при температурах наименьшей устойчивости аустенита (для разных составов швов эта температура находится в пределах 773-873 К) и эквивалент углерода, определяемый по выражению:

$$C_3 = C + \frac{Si}{7} + \frac{Mn}{8} + \frac{Cr}{9} + \frac{Cu}{10} + \frac{Ni}{13} + \frac{P}{15} [\%], \quad (1.1)$$

где – C, Si, Mn... - концентрация легирующего элемента, %

Формула (1.1) - справедлива при следующих пределах легирования: 0,09...0,30 % C; 0,25..2,50 % Mn; 0,07.. 1,00 % Si; до 3,0 % Cr; до 3,0 % Ni; до 1,0 % Cu; 0,01...0,07 % P; 0,008...0,05 % S.

На диаграмме показаны три структурные области: ферритно-перлитная, бейнитно-мартенситная и мартенситная. Поскольку мартенситная область занимает на диаграмме очень малую площадь, то следует считать, что при сварке низколегированных сталей металл шва, как правило, имеет ферритно-перлитную либо бейнитно-мартенситную структуру. Прямая, разделяющая на диаграмме $\Phi + \Pi$ и $B + M$ области, описывается уравнением:

$$C_3 > 0,78 - 0,15 \lg \omega \quad (1.2)$$

из которого следует, что если $C_3 < 0,78 - 0,15 \lg \omega$, то структура ферритно-перлитная, а если $C_3 > 0,78 - 0,15 \lg \omega$, то - бейнитно-мартенситная. Для случая ферритно - перлитных структур существует выражение для определения количества феррита:

$$\Phi = 65 - 0,23 \omega - 103,6 C_3 + 0,35 \lg \omega \cdot C_3, \quad (1.3)$$

для которого коэффициент множественной корреляции $R = 0,86$ и обеспечивается 10 % - ный уровень значимости.

Структура металла шва влияет на работоспособность сварных конструкций, в частности при низких температурах. Доля волокнистой составляющей в изломе металла шва зависит от химического состава, скорости охлаждения и температуры испытания. Целесообразно, чтобы доля волокнистой составляющей в изломе была не менее 50%.

Касаткин О. Г. [2] предложил следующую методику определений доли волокнистой составляющей % В при дуговой сварке низколегированных сталей:

$$B = 0 \quad \text{при} \quad T_{\text{исп}} < \left(T_x - \frac{50}{K_x} \right); \quad (1.4)$$

$$B = 50 + K_x (T_{исп} - T_x) \text{ при } \left(T_x - \frac{50}{K_x} \right) \leq T_{исп} \leq \left(T_x + \frac{50}{K_x} \right); \quad (1.5)$$

$$B = 100 \text{ при } T_{исп} > \left(T_x + \frac{50}{K_x} \right) \quad (1.6)$$

где $T_{исп}$ - температура испытания, °С;

T_x - критическая температура хрупкости, составляющая 50 % содержания волокнистой составляющей в изломе;

K_x - температурный коэффициент хрупкости, равный приращению волокнистой составляющей **B** в % при повышении $T_{исп}$ на 1 °С.

$$T_x = - 53,2 + 31,8 \text{ Mn} + 32,1 \text{ Si} + 29,7 \text{ Cr} + 16,7 \text{ Mo} - 8,75 \text{ Ni} + 165 \text{ Ti} + 100 \text{ Nb} + 9,56 \text{ W} + 6,66 \text{ Co} + 165 \text{ Zr} + 240 \text{ S} + 967 \text{ P} + 1380 \text{ N} - 39,4 \text{ C} \cdot \text{Ni} + 391 \text{ C} \cdot \text{V} + 13,4 \text{ Mn} \cdot \text{Si} - 8,99 \text{ Mn} \cdot \text{Mo} + 6,97 \text{ Mn} \cdot \text{Ni} + 12,7 \text{ Si} \cdot \text{Mo} + 31,6 \text{ Si V} + 2,22 \text{ Cr} \cdot \text{Ni} - 9,48 \text{ Mo} \cdot \text{V} + 147 \text{ C}^2 - 3,25 \text{ Mn}^2 - 1,09 \text{ Cr}^2 + 2,4 \text{ Mo}^2 - 1,59 \text{ Ni}^2 + 23,9 \text{ V}^2 - (7,27 \text{ Mn} + 13,2 \text{ Si} + 5,91 \text{ Cr} + 6,46 \text{ V}) \ln t_c, \text{ °С}; \quad (1.7)$$

$$R = 0,875$$

$$\ln K_x = 1,08 - 2,07 \text{ C} - 0,25 \text{ Mn} - 0,397 \text{ Si} - 0,395 \text{ Cr} - 0,818 \text{ Mo} - 0,426 \text{ Ni} - 2,02 \text{ V} - 0,766 \text{ Ti} - 0,13 \text{ W} - 0,088 \text{ Cu} - 0,108 \text{ Co} - 1,20 \text{ Zr} - 11,0 \text{ S} - 8,90 \text{ P} - 11,3 \text{ N} - 0,719 \text{ C Cr} + 0,802 \text{ C Mo} + 0,412 \text{ C} \cdot \text{Ni} - 3,20 \text{ C} \cdot \text{V} + 0,142 \text{ Mn} \cdot \text{Si} + 0,104 \text{ Mn} \cdot \text{Cr} + 0,048 \text{ Mn Mo} + 0,123 \text{ Si Mo} + 0,108 \text{ Si Ni} - 0,363 \text{ Si V} + 2,22 \text{ C}^2 + 0,026 \text{ Mo}^2 + 0,011 \text{ Ni}^2 + (-0,029 - 0,27 \cdot \text{C} + 0,096 \text{ Cr} + 0,16 \text{ Mo} + 0,086 \text{ Ni} + 0,694 \text{ V}) \cdot \ln t_c, \% / \text{°С}; \quad (1.8)$$

$$R = 0,954,$$

где t_c - время охлаждения металла шва от 850 до 500 °С,

Предполагаемая методика справедлива для следующих пределов легирования металла шва, %: $\text{C} \leq 0,2$; $\text{Mn} \leq 2,0$; $\text{Si} \leq 0,8$; $\text{Cr} \leq 2,0$; $\text{Mo} \leq 2,0$; $\text{Ni} \leq 2,0$; $\text{V} \leq 0,6$; $\text{Ti} \leq 0,05$; $\text{Al} \leq 0,05$; $\text{Nb} \leq 0,3$; $\text{W} \leq 0,6$; $\text{Cu} \leq 0,5$;

$\text{Co} \leq 0,5$; $\text{Zr} \leq 0,03$. Содержание примесей, %: $\text{S} \leq 0,03$; $\text{P} \leq 0,03$; $\text{N} \leq 0,02$; $\text{O} \leq 0,06$. Время охлаждения $t_c = 10 \dots 40$ с.

1.2 Порядок выполнения работы

1 Для заданного химического состава металла шва рассчитать $C_{экр}$ (табл. 1.1).

2 Для заданных параметров режима сварки рассчитать скорость охлаждения ω (табл. 1.2).

- 3 Определить уравнение прямой.
- 4 Рассчитать количество феррита.
- 5 Рассчитать количество волокнистой составляющей в металле шва.

Таблица 1.1 - Химический состав металла шва

Вариант	Содержание легирующих элементов, %							
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	P	S
1	0,15	0,5	0,6	0,9	0,5	-	0,01	0,01
2	0,10	1,5	0,9	1,0	1,0	0,4	0,02	0,02
3	0,18	0,6	0,3	0,7	0,2	0,2	0,01	0,02
4	0,11	0,8	0,8	0,6	0,9	0,1	0,01	0,01
5	0,12	1,2	1,0	0,3	0,2	0,2	0,03	0,04
6	0,13	1,1	0,9	0,5	0,6	0,4	0,06	0,06
7	0,14	0,3	0,1	0,3	0,5	0,3	0,02	0,02
8	0,18	1,7	1,0	1,0	1,2	0,5	0,06	0,04
9	0,17	1,5	0,4	0,7	1,3	0,3	0,02	0,03
10	0,16	0,4	0,3	0,5	0,6	0,2	0,01	0,02
11	0,16	0,6	0,7	1,0	0,6	-	0,01	0,01
12	0,11	1,6	1,0	1,1	1,1	0,5	0,02	0,02
13	0,17	0,5	0,3	0,8	0,3	0,3	0,01	0,02
14	0,12	0,9	0,9	0,7	0,8	0,2	0,01	0,01
15	0,13	1,3	1,1	0,3	0,3	0,2	0,03	0,04
16	0,12	0,7	0,8	0,6	0,7	0,4	0,03	0,04
17	0,18	0,8	0,4	0,8	0,4	0,3	0,01	0,03
18	0,11	0,9	0,9	0,7	1,0	0,2	0,01	0,02
19	0,17	1,3	0,3	0,6	1,2	0,4	0,03	0,04
20	0,15	0,7	0,5	1,1	0,7	0,2	0,01	0,01
21	0,14	0,5	0,3	0,5	0,7	0,4	0,03	0,04

Таблица 1.2 - Режимы сварки

Вариант	I _{св} , А	U _д , В	V _{св} , м/ч	δ металла, мм	Время охлаждения, с
1	2	3	4	5	6
1	300	28	16	12	20
2	320	28	16	20	10
3	350	29	0	10	15

Продолжение таблицы 1.2

1	2	3	4	5	6
4	300	30	15	22	18
5	380	30	26	16	19
6	450	32	36	16	21
7	400	31	26	18	23
1	2	3	4	5	6
8	420	32	27	16	25
9	430	30	32	20	27
10	440	32	34	18	29
11	500	30	40	18	32
12	550	28	30	16	35
13	400	30	30	18	23
14	500	32	25	18	28
15	450	30	20	16	30
16	300	28	16	12	18
17	350	29	30	10	23
18	400	31	26	18	21
19	430	30	32	20	29
20	300	30	15	22	20
21	320	28	16	20	10

1.3 Содержание отчета

Отчет должен содержать: цель работы, краткие теоретические сведения, все расчетные формулы в общем виде и в цифровом обозначении, результаты расчета по ним, график зависимости C_s от скорости охлаждения ω , выводы.

14 Вопросы для самопроверки

- 1 Состав и свойства низкоуглеродистых сталей.
- 2 Состав и свойства низколегированных сталей.
- 3 От каких составляющих зависит структура металла шва и околошовной зоны?
- 4 От чего зависит доля волокнистой составляющей в изломе металла шва?
- 5 На какой показатель металла шва влияет волокнистая составляющая?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 2

Цель работы – определение структурного состояния и механических свойств металла, зоны термического влияния расчетными методами.

2.1 Краткие теоретические сведения

Свойства и работоспособность сварного соединения зависит в значительной мере от размеров и структурного состояния зоны термического влияния (ЗТВ). При этом наибольшую опасность с точки зрения эксплуатационной надежности сварного соединения представляет участок ЗТВ, прилегающий непосредственно к шву – околошовный участок ЗТВ. Применительно к низколегированным сталям для определения структуры околошовного участка ЗТВ может быть использована диаграмма (рис.2.1).

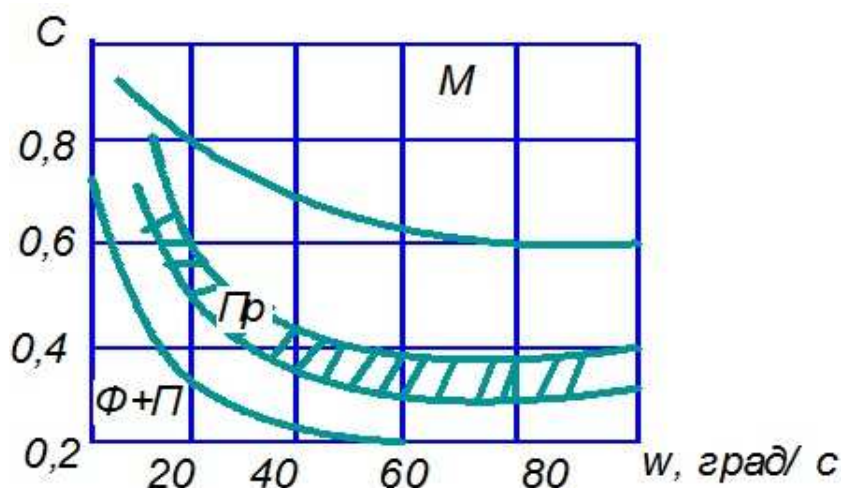


Рисунок 2.1 – Диаграмма для определения структуры околошовного участка ЗТВ углеродистых и низколегированных сталей

Химический состав стали диаграммой учитывается с помощью эквивалента углерода:

$$C_{\text{э}} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{10} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{14}.$$

Диаграмма рассчитана на следующие концентрации легирующих элементов в стали, %: $C \leq 0,45$; $Mn \leq 1,80$; $Si \leq 1,40$; $Ni \leq 2,0$; $Mo \leq 0,40$;

$V \leq 0,12$; $Cr \leq 2,0$. Скорость охлаждения определялась при температурах 873-773 К. На диаграмме выделены три структурные области: ферритно-перлитная $\Phi + \Pi$, область Пр промежуточного превращения (феррит + перлит + бейнит + мартенсит, феррит + бейнит + мартенсит или бейнит + мартенсит) и мартенситная М. Поскольку в области Пр всегда существует мартенсит, то она разделена на 2 участка: $M < 50 \%$ и $M > 50 \%$. Граница между этими участками показана в виде узкой зоны, для которой можно считать $M = 50 \%$. Приведенная диаграмма дает лишь качественное представление о структуре околошовного участка, тем не менее ею удобно пользоваться при разработке технологических процессов сварки.

Экспериментальное определение количества структурных составляющих околошовного участка конкретной марки стали с построением диаграмм является самым точным, но и самым трудоемким способом. Поэтому, применительно к низколегированным сталям разработаны расчетные методы определения количества структурных составляющих в околошовном участке ЗТВ. Эти методы следует считать ориентировочными, поскольку они не в состоянии учесть металлургические особенности выплавки отдельных марок сталей и тонкости высокотемпературного превращения аустенита при сварочном нагреве.

Для определения количества мартенсита М и ферритно-перлитной смеси ФП пользуются уравнениями:

$$M = 100 \left[0,95 - \exp(-K_M \omega^{n_m}) \right], \% \quad (2.1)$$

$$\Phi\Pi = 100 \exp(-K_{\Phi.\Pi} \omega^{n_{\Phi\Pi}}), \% \quad (2.2)$$

где ω^{n_m} - скорость охлаждения в интервале температур 873-773 К, град/с;

K_M , $K_{\Phi\Pi}$, n_m , $n_{\Phi\Pi}$, - расчетные коэффициенты, определяемые по выражениям:

$$n_M = \frac{3,3475}{\ln \left(\frac{\omega_{M2}}{\omega_{M1}} \right)}; \quad (2.3)$$

$$K_M = \frac{0,1054}{(\omega_{M1})^{n_M}}; \quad (2.4)$$

$$n_{\phi.P} = -\frac{4,067}{\ln \frac{\omega_{\phi.P2}}{\omega_{\phi.P}}}; \quad (2.5)$$

$$K_{\phi.P} = \frac{2,9957}{(\omega_{\phi.P1})^{n_{\phi.P}}}; \quad (2.6)$$

где ω_{M1} , ω_{M2} – критические скорости охлаждения, соответствующие образованию 5 и 90 % мартенсита;

$\omega_{\phi.P1}$, $\omega_{\phi.P2}$ – критические скорости охлаждения, соответствующие образованию 5 и 100 % ферритно-перлита;

$$\omega_{M1} = 0,343C_9^{-4,116} \quad (2.7)$$

$$\omega_{M2} = 3,217C_9^{-3,838} \quad (2.8)$$

$$\omega_{\phi.P1} \approx \omega_{M1} \quad (2.9)$$

$$\omega_{\phi.P2} \approx 0,1\omega_{\phi.P1} \quad (2.10)$$

Для (2.7) и (2.8) эквивалент углерода определяется следующим образом:

$$C_9 = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{10} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{Cu}{15} + \frac{V}{14} + 5B \quad (2.11)$$

При образовании мартенситных структур всегда наблюдается остаточное содержание аустенита. Оно невелико и может быть принято равным 5 %. Тогда содержание бейнита в околосшовном участке, %:

$$B = 100 - (M + 5).$$

При ферритно-перлитной структуре содержание бейнита определится как дополнение до 100 %.

Температуры начала $T_{мн}$ и конца $T_{мк}$ мартенситного превращения для легированных сталей приблизительно могут быть найдены по регрессионным уравнениям:

$$T_{M.H} = 804,50 - 313,13 C - 89,71 Mn - 44,69 Si Ni - 680,88 C V - 5,37 Cr^2 + 30,50 Mn^2 + 15,01 Cr; \quad (2.12)$$

$$R = 0,859;$$

$$T_{M.K} = 678,18 - 1224,86 C - 120,28 Ni - 51,63 Mn^2 - 17,96 Mn \cdot Mo - 67,42 Cr \cdot V - 304,52 Si \cdot Cr + 590,89 C \cdot Cr + 65,16 Mn \cdot Ni + 55,26 Si + 492,0 C \cdot Mn + 88,57 Si \cdot Ni + 6,81 Ni^2; \quad (2.13)$$

$$R = 0,801$$

2.2 Порядок выполнения работы

1 Для заданного химического состава металла шва рассчитать $C_{экв}$ (табл. 2.1).

2 Используя диаграмму определить структуру околошовного участка для заданной марки стали и заданного теплового режима. Для определения скорости охлаждения использовать режимы сварки, заданных в практической работе 1 (табл. 1.2).

3 Рассчитать по приведенным формулам количество мартенсита и ферритно-перлитной смеси для заданной марки стали и заданного теплового режима.

4 Рассчитать температуру начала и конца мартенситных превращений для заданной марки стали.

5 Для заданного теплового режима рассчитать необходимую скорость охлаждения в интервале температур $T_{м.н}$ $T_{м.к}$.

6 Подобрать скорость охлаждения сварного соединения, исключаящую вероятность образования холодных трещин. Содержание мартенсита не более 30 %.

Таблица 2.1 Химический состав сталей(металла шва), %

Вариант	Химический состав металла шва, %													
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	V	Ti	Al	Nb	Co	W	Cu	Zr
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0,10	1,0	0,3	1,0	1,0	1,0	0,02	-	-	-	0,4	-	-	-
2	0,12	0,9	0,4	0,8	1,5	0,7	-	0,05	0,04	0,3	0,3	-	-	-
3	0,14	0,5	0,2	1,5	0,5	0,8	-	-	-	-	0,5	0,5	0,4	0,02
4	0,16	0,3	0,2	0,3	0,2	0,5	0,1	0,04	-	-	0,4	-	0,4	0,02
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
5	0,17	0,2	0,3	0,2	0,2	0,3	0,5	0,03	0,03	0,2	-	-	-	-
6	0,2	0,4	0,2	0,1	0,3	1,2	0,5	0,02	0,02	0,1	-	-	-	-
7	0,19	0,8	0,6	0,9	0,2	0,3	0,3	0,01	0,01	0,1	0,5	-	0,1	-
8	0,18	0,6	0,5	1,0	0,5	0,7	0,15	0,05	-	-	0,3	0,4	0,3	0,01
9	0,16	0,5	0,6	1,2	1,1	0,5	0,4	0,02	0,02	0,3	0,1	0,6	0,2	-
10	0,15	0,6	0,4	1,5	1,5	-	-	-	0,05	0,3	0,4	0,4	0,3	0,03
11	0,12	0,8	0,5	0,3	0,3	-	-	-	-	0,3	0,1	0,3	0,4	0,02
12	0,10	0,4	0,3	1,0	1,5	1,0	0,01	-	-	-	0,2	0,3	-	0,01
13	0,15	0,5	0,2	1,3	0,9	0,7	0,3	-	-	-	-	-	0,2	-
14	0,2	0,7	0,4	1,7	0,6	-	0,4	0,03	-	0,1	-	-	-	-
15	0,18	1,1	0,7	0,6	1,2	0,6	-	0,01	-	-	-	-	0,3	-
16	0,10	1,0	0,3	1,0	1,0	1,0	0,02	0,05	0,04	0,3	0,3	-	-	-
17	0,12	0,9	0,4	0,8	1,5	0,7	0,1	0,04	-	-	0,4	-	0,4	0,02
18	0,14	0,5	0,2	1,5	0,5	0,8	-	0,01	-	-	-	-	0,3	-
19	0,16	0,3	0,2	0,3	0,2	0,5	0,1	0,04	0,04	0,3	0,3	-	-	-
20	0,19	0,8	0,6	0,9	0,2	0,3	0,3	0,01	0,01	0,1	0,5	0,3	-	0,01
21	0,15	0,6	0,4	1,5	1,5	0,5	0,4	0,02	0,02	0,3	0,1	0,6	0,2	-
Вариант	S		P		[N ₂]		[O ₂]		Время охлаждения, с					
1	0,02		0,02		0,007		0,005		20					
2	0,01		0,03		0,01		0,06		10					
3	0,01		0,02		0,015		0,05		15					
4	0,02		0,01		0,012		0,03		18					
5	0,03		0,01		0,018		0,022		19					
6	0,02		0,01		0,035		0,04		21					
7	0,03		0,02		0,02		0,01		23					
8	0,03		0,03		0,03		0,027		25					
9	0,01		0,01		0,01		0,01		27					
10	0,02		0,02		0,021		0,015		29					
11	0,01		0,01		0,025		0,055		32					
12	0,01		0,01		0,010		0,012		35					
13	0,015		0,02		0,019		0,035		23					
14	0,031		0,018		0,028		0,018		28					
15	0,021		0,03		0,035		0,02		30					
16	0,02		0,01		0,012		0,03		18					
17	0,03		0,02		0,02		0,01		23					
18	0,02		0,01		0,035		0,04		21					
19	0,02		0,02		0,021		0,015		29					
20	0,02		0,02		0,007		0,005		20					
21	0,01		0,03		0,01		0,06		10					

2.3 Содержание отчета

Отчет должен содержать: цель работы, краткие теоретические сведения, все расчетные формулы в общем виде и в цифровом обозначении, результаты расчета по ним, график зависимости C_3 от скорости охлаждения ω , выводы по работе.

2.4 Вопросы для самопроверки

- 1 Состав и свойства низколегированных сталей.
- 3 Дать определение зоны термического влияния.
- 4 Каково предельное содержание мартенсита, при котором отсутствуют холодные трещины в шве?
- 5 От какого параметра зависят структурные составляющие околошовного участка шва?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 3

Цель работы – определение механических свойств металла сварного соединения расчетными методами.

3.1 Краткие теоретические сведения

Экспериментальное определение механических свойств металла различных зон сварного соединения связано со значительными материальными и трудовыми затратами. Применение математических зависимостей позволяет значительно ускорить процесс прогнозирования механических свойств сварного соединения.

Математические модели для расчета механических свойств металла швов при дуговой сварке низколегированных сталей предложены О. Г. Касаткиным[1]. Содержание легирующих элементов рассматриваемых сталей должно укладываться в пределы, %: $C \leq 0,2$; $Mn \leq 2$; $Si \leq 0,8$; $Cr \leq 2,0$;

$Mo \leq 2,0$; $Ni \leq 2,0$; $V \leq 0,6$; $Ti \leq 0,05$; $Al \leq 0,05$; $Nb \leq 0,3$; $W \leq 0,6$; $Cu \leq 0,5$;

$Co \leq 0,5$; $Zr \leq 0,03$. Концентрация примесей ограничена, %: $S \leq 0,03$;
 $P \leq 0,03$; $[N] \leq 0,02$; $[O] \leq 0,06$. Время охлаждения металла швов в интервале температур 1123–773 К составляло $10 \leq t \leq 40$ с. Прочностные свойства металла швов определяются по следующим уравнениям:

$$\begin{aligned} \sigma_8 = & 320 + 1485 C + 181 Mn + 171 Si + 136 Cr + 276 Mo + 113 Ni + \\ & + 554 V - 235 Ti - 96 Al - 73 Nb + 48 W + 45 Cu - 200 P - 80 Zr + \\ & + 1880 N - 102 O + 1475 C \cdot Si + 412 C \cdot Cr - 260 C \cdot Mo + 309 C \cdot Ni + + 353 C \cdot V - \\ & - 16 Mn \cdot Cr - 9,5 Mn \cdot Ni + 27 Si \cdot Cr - 14 Cr \cdot Mo - 65 Cr \cdot V - 55 Mo \cdot V - \\ & - 42 Ni \cdot V - 10,6 Mn^2 - 8,1 Cr^2 - 29 Mo^2 - 7,1 Ni^2 - 285 V^2 - (9,4 + 142 C \\ & + 14,6 Mn + + 9,8 Si + 11,2 Cr + 28,4 Mo + 13 Ni + 29 V) \ln t, \text{ МПа} \quad (3.1) \\ R = & 0,98; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{0,2} = & 225 + 1852 C + 185 Mn + 42,5 Si + 109 Cr + 226 Mo + 126 Ni + \\ & + 526 V - 120 Ti - 80 Al - 46 Nb + 12 W + 41,5 Cu - 97 Zr - 1400 P + 1980 N - \\ & - 127 O - 337 C \cdot Mn + 301 C \cdot Si + 234 C \cdot Ni + 518 C \cdot V - 21,6 Mn \cdot Ni + \\ & + 5,3 Si \cdot Cr - 33,5 Si \cdot Ni + 89,5 Si \cdot V - 14,8 Mo \cdot Ni - 64,3 Mo \cdot V - 38,3 Ni \cdot V - \\ & - 258 C^2 - 12,6 Mn^2 - 8,09 Cr^2 - 18 Mo^2 - 6,4 Ni^2 - 332 V^2 - (6,94 \\ & + 248 C + + 9,5 Mn + 8,4 Cr + + 20 Mo + 6,3 Ni + 14 V) \ln t, \text{ МПа} \quad (3.2) \\ R = & 0,98, \end{aligned}$$

где $\sigma_{0,2}$ - условный предел текучести.

Для расчета пластических свойств применяют такие зависимости

$$\begin{aligned} \delta_5 = & 38,9 - 63,1 C - 12,2 Mn - 7,56 Si - 12,3 Cr - 12,6 Mo - 30,4 V - \\ & - 9,92 Ti - 2,41 Nb - 6,31 Cu + 1,72 Co - 5,85 Zr - 74,2 S - 111 P - \\ & - 200 N - \\ & - 13,2 O - 9,09 C \cdot Mn + 7,70 C \cdot Cr + 15,7 C \cdot Mo + 2,02 Mn \cdot Si + \\ & + 1,27 Mn \cdot Mo + + 2,74 Mn \cdot V + 0,171 Cr \cdot Ni + 0,392 Mo \cdot Ni + 5,70 Mo \cdot V + 25,4C \\ & ^2 + 0,225 Cr + + 0,531 Mo^2 + 2,94 V^2 + (2,16 C + 2,74 Mn + 1,9 Si + 2,21 Cr \\ & + 1,51 Mo - \\ & - 0,475 Ni + 5,97 V) \ln t, \% \quad (3.3) \\ R = & 0,92; \end{aligned}$$

где δ_5 – относительное удлинение после разрыва (на пятикратных образцах);

$$\begin{aligned} \psi = & 83,7 - 127 C - 21,7 Mn - 15,1 Si - 29,4 Cr - 41,9 Mo - 81,2 V - \\ & -18,9 Ti - 9,02 Al - 10,5 Nb - 2,64 Cu + 3,33 Co - 30,5 Zr - 85,0 S - \\ & 307 P - \\ & -924 N -101 O - 46,8 C \cdot Mn + 13,3 C Cr + 8,73 Mn \cdot Si + 1,62 Mn Mo - \\ & -1,52 Mn Ni + 5,72 Mn V - 5,58 Cr V - 0,67 Mo Ni + 2,97 Ni V + \\ & 53,1 C^2 + +0,507 Cr^2 - 18,5 V^2 + (1,77 + 3,8 C + 5,48 Mn + 4,01 Si + 5,64 Cr \\ & + 13,2 Mo + +0,295 Ni + 31,1 V) \ln t \quad \%, \end{aligned} \quad (3.4)$$

$$R = 0,88$$

где ψ – относительное сужение после разрыва;

t – время охлаждения металла шва в интервале температур 850 – –500 °С.

При дуговой сварке низколегированных сталей свойства ЗТВ могут быть определены в зависимости от химического и фазного состава, а также от термического цикла сварки.

$$\begin{aligned} \sigma_B = & (798 + 3215 C) M + (590 + 960 C + 39,7 Mn + 200 V) Б + \\ & + (297 + 1360 C + 60 Mn + 140 V) (\Phi + \Pi), \quad R = 0,91; \end{aligned} \quad (3.5)$$

$$\begin{aligned} \sigma_T = & (662 + 1610 C) M + (500 + 460 C - 120 C^2 + 150 V) Б + \\ & + (187 + 926 C + 47 Mn + 90 V) (\Phi + \Pi), \quad R = 0,90; \end{aligned} \quad (3.6)$$

$$\begin{aligned} \delta = & (12,2 - 67 C^2 - 1,5 Mn + 0,76 \ln t) M + (21,3 - 35,6 C - 4,0 Mn - \\ & -5,0 V + 1,84 \ln t) Б + (36,5 - 127 C + 153 C^2 - 1,16 Mn + 8,0 V + \\ & 0,66 \ln t) (\Phi + \Pi), \end{aligned} \quad (3.7)$$

$$R = 0,91$$

$$\begin{aligned} \psi = & (48,5 - 158 C + 116 C^2 + 0,98 \ln t) M + (53,3 - 132 C + 103 C^2 - \\ & 5,1 Mn - 10 V + 3,4 \ln t) Б + (65,4 - 88 C - 82 C^2 - 6,7 Mn + 18 V + 0,6 \ln t) \cdot \\ & (\Phi + \Pi), \end{aligned} \quad (3.8)$$

$$R = 0,86;$$

$$a_H = (1,06 - 2,8 C + 1,3 C^2 - 0,081 Mn + 0,054 \ln t) M + (1,3 - 1,6 C - 0,08 Mn) B + (1,47 - 1,8 C + 0,80 C^2 - 0,076 Mn - 0,45 \ln t) (\Phi + \Pi) \quad (3.9)$$

$$R = 0,75$$

$$HV = (309 + 494 C + 622 C^2 + 17,7Mn) M + (234 + 122 C) B + (98 + 275 C + 15,4 Mn) (\Phi + \Pi), \quad (3.10)$$

$$R = 0,95$$

где σ_B – временное сопротивление, МПа;

σ_T – предел текучести, МПа;

δ , – относительное удлинение и сужение после разрыва, %;

ψ – относительное сужение после разрыва, %;

a_H – ударная вязкость, МДж/м²;

Φ , Π , B , M – доля в структуре ЗТВ соответственно феррита, перлита, бейнита и мартенсита, $(\Phi + \Pi) + B + M = 1;0$

3.2 Порядок выполнения работы

1 Рассчитать механические свойства металла шва заданного химического состава при сварке низколегированной стали и для заданного времени охлаждения.

2.Рассчитать механические свойства металла ЗТВ по формулам(3.5–3.10), используя исходные данные практических работ №1(табл.1.2), №2 и таблицы 3.1.

Таблица 3.1 – Химический состав металла шва

Вари-а	Химический состав металла шва, %													
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	V	Ti	Al	Nb	Co	W	Cu	Zr
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>	<i>15</i>
1	0,10	1,0	0,3	1,0	1,0	1,0	0,02	-	-	-	0,4	-	-	-
2	0,12	0,9	0,4	0,8	1,5	0,7	-	0,05	0,04	0,3	0,3	-	-	-
3	0,14	0,5	0,2	1,5	0,5	0,8	-	-	-	-	0,5	0,5	0,4	0,02
4	0,16	0,3	0,2	0,3	0,2	0,5	0,1	0,04	-	-	0,4	-	0,4	0,02
5	0,17	0,2	0,3	0,2	0,2	0,3	0,5	0,03	0,03	0,2	-	-	-	-
6	0,2	0,4	0,2	0,1	0,3	1,2	0,5	0,02	0,02	0,1	-	-	-	-
7	0,19	0,8	0,6	0,9	0,2	0,3	0,3	0,01	0,01	0,1	0,5	-	0,1	-

Продолжение таблицы 3.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
8	0,18	0,6	0,5	1,0	0,5	0,7	0,15	0,05	-	-	0,3	0,4	0,3	0,01
9	0,16	0,5	0,6	1,2	1,1	0,5	0,4	0,02	0,02	0,3	0,1	0,6	0,2	-
10	0,15	0,6	0,4	1,5	1,5	-	-	-	0,05	0,3	0,4	0,4	0,3	0,03
11	0,12	0,8	0,5	0,3	0,3	-	-	-	-	0,3	0,1	0,3	0,4	0,02
12	0,10	0,4	0,3	1,0	1,5	1,0	0,01	-	-	-	0,2	0,3	-	0,01
13	0,15	0,5	0,2	1,3	0,9	0,7	0,3	-	-	-	-	-	0,2	-
14	0,2	0,7	0,4	1,7	0,6	-	0,4	0,03	-	0,1	-	-	-	-
15	0,18	1,1	0,7	0,6	1,2	0,6	-	0,01	-	-	-	-	0,3	-
16	0,10	1,0	0,3	1,0	1,0	1,0	0,02	0,05	0,04	0,3	0,3	-	-	-
17	0,12	0,9	0,4	0,8	1,5	0,7	0,1	0,04	-	-	0,4	-	0,4	0,02
18	0,14	0,5	0,2	1,5	0,5	0,8	-	0,01	-	-	-	-	0,3	-
19	0,16	0,3	0,2	0,3	0,2	0,5	0,1	0,04	0,04	0,3	0,3	-	-	-
20	0,19	0,8	0,6	0,9	0,2	0,3	0,3	0,01	0,01	0,1	0,5	0,3	-	0,01
21	0,15	0,6	0,4	1,5	1,5	0,5	0,4	0,02	0,02	0,3	0,1	0,6	0,2	-
Вариант	S	P	[N ₂]	[O ₂]	Время охлаждения, с									
1	0,02	0,02	0,007	0,005	20									
2	0,01	0,03	0,01	0,06	10									
3	0,01	0,02	0,015	0,05	15									
4	0,02	0,01	0,012	0,03	18									
5	0,03	0,01	0,018	0,022	19									
6	0,02	0,01	0,035	0,04	21									
7	0,03	0,02	0,02	0,01	23									
8	0,03	0,03	0,03	0,027	25									
9	0,01	0,01	0,01	0,01	27									
10	0,02	0,02	0,021	0,015	29									
11	0,01	0,01	0,025	0,055	32									
12	0,01	0,01	0,010	0,012	35									
13	0,015	0,02	0,019	0,035	23									
14	0,031	0,018	0,028	0,018	28									
15	0,021	0,03	0,035	0,02	30									
16	0,02	0,01	0,012	0,03	18									
17	0,03	0,02	0,02	0,01	23									
18	0,02	0,01	0,035	0,04	21									
19	0,02	0,02	0,021	0,015	29									
20	0,02	0,02	0,007	0,005	20									
21	0,01	0,03	0,01	0,06	10									

3.3 Содержание отчета

Отчет должен содержать: цель работы, краткие теоретические сведения, все расчетные формулы в общем виде и в цифровом обозначении, результаты расчета по ним, выводы по работе.

3.4 Вопросы для самопроверки

- 1 Состав и свойства низколегированных сталей.
- 2 От каких составляющих зависят механические свойства металла шва?
- 3 Дать определение показателям механических свойств металла шва (σ_B , σ_T , δ , ψ , a_H).
- 4 Дать определение структурам: аустенит, перлит, бейнит, мартенсит.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 4

Цель работы – определение химического состава и структурного состояния металла шва при сварке жаропрочных аустенитных сталей расчетно-графическим методом.

4.1 Краткие теоретические сведения

Аустенитные жаропрочные стали характеризуются высоким коэффициентом теплового расширения и малой теплопроводностью. Это приводит к высокому уровню напряжений и деформаций при сварке.

Кристаллизация однофазных сварных швов аустенитных сталей приводит к формированию крупнокристаллической столбчатой структуры с сильно выраженной ликвационной неоднородностью по Cr, Ni, Nb, В и т.д. Эти обстоятельства способствуют зарождению и развитию горячих трещин. В металле зоны термического влияния (ЗТВ) аустенитных сталей имеет место склонность к хрупким локальным разрушениям при высокотемпературной эксплуатации. Они аналогичны трещинам при сварке. Чтобы уменьшить вредное влияние указанных факторов на работоспособность сварных соединений жаропрочные стали необходимо сваривать материалами, обеспечивающими в швах обязательное присутствие ферритной фазы (2 – 5%)[3].

Структура металла швов хромоникелевых сталей определяется по диаграмме Шеффлера, которая построена для сварочных скоростей охлаждения (рис. 4.1).

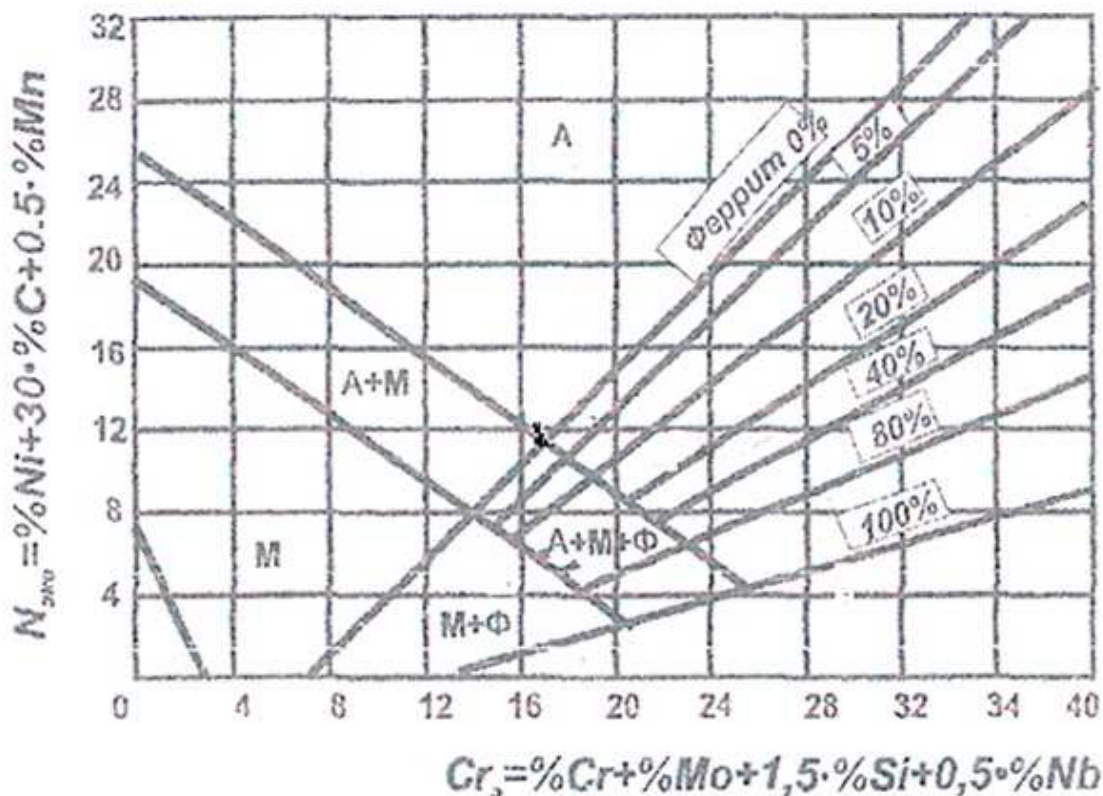


Рисунок 4.1- Структурная диаграмма Шеффлера для хромоникелевых швов

При создании диаграммы все легирующие элементы разделены на аустенитно- и ферритнообразующие. По оси абсцисс откладывается эквивалент хрома Cr_3 , который учитывает действие всех ферритообразующих элементов, по оси ординат – эквивалент никеля Ni_3 , учитывающий влияние аустенитнообразующих элементов. Эквиваленты никеля и хрома рассчитываются по зависимостям:

$$Ni_3 = Ni + 30 C + 0,5 Mn + 30 N + 10 B, \quad (4.1)$$

$$Cr_3 = Cr + 1,25 Mo + 1,5 Si + 0,5 Nb + 3,5 Ti + 2 Al + W + V \quad (4.2)$$

Здесь индексы химических элементов обозначают их содержание в процентах.

Для определения структуры металла шва необходимо по известному химическому составу подсчитать эквиваленты хрома и никеля и из соответствующих точек на координатных осях провести прямые. Точка пересечения прямых указывает на структуру металла шва.

При сварке хромоникелевых аустенитных сталей во избежание горячих трещин рекомендуется иметь 2...5, иногда до 10 % феррита, т.е. структура должна быть аустенитно-ферритная (А + Ф). По диаграмме Шеффлера можно найти значения Ni_3 и Cr_3 , обеспечивающие такую структуру.

На основании диаграммы Шеффлера предложен расчетный метод определения количества феррита исходя из значений Ni_3 и Cr_3 :

$$\Phi = 1,05Cr_3 + 5,31 - \sqrt{1,1Cr_3^2 - 35,4Cr_3 + 45,7Ni_3 + 284}, \% . \quad (4.3)$$

4.2 Порядок выполнения работы

- 1 Построить диаграмму Шеффлера;
- 2 Для заданной марки стали (табл.4.1) рассчитать $Ni_{экв}$ и $Cr_{экв}$ и нанести полученные значения на диаграмму Шеффлера;
- 3 Выбрать марку сварочной проволоки (табл.4.2), обеспечивающую требуемое количество ферритной фазы в металле шва при заданном коэффициенте долевого участия основного металла в формировании шва;
- 4 Рассчитать фактическое количество феррита в металле шва по формуле 4.3.
- 5 Если проволока, заданная в варианте, не обеспечивает требуемое количество феррита, выбрать другую проволоку, обеспечивающую требуемое количество ферритной фазы в металле шва.

4.3 Содержание отчета

Отчет должен содержать: цель работы, краткие теоретические сведения, все расчетные формулы в общем виде и в цифровом обозначении, результаты расчета по ним; построенную диаграмму по полученным расчетным данным, выводы по работе.

4.4 Вопросы для самопроверки

- 1 Состав и свойства высоколегированных сталей.
- 2 От содержания какой составляющей зависит склонность однофазных аустенитных сталей к образованию горячих трещин. составляющих зависят механические свойства металла шва?
- 3 Дать определение структурам: аустенит, феррит, мартенсит.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Лебедев, Б. Д.** Диаграмма для определения структуры металлов швов при сварке низколегированных сталей / Б. Д. Лебедев // Сварочное производство.–1968.–№1.– С.2-3.

2 **Касаткин, О. Г.** Регрессионные модели для оценки доли волокнистой составляющей в изломе металла шва / О. Г. Касаткин //Автоматическая сварка.–1983.–№5.– С.5-14.

3 **Каховский, Н. И.** Сварка высоколегированных сталей / Н. И. Каховский,– К: Техніка,1984. – 362 с.

Таблица 4.1 - Химический состав аустенитных и жаропрочных сталей

Марка стали	Содержание элементов, %										
	C	Si	Mn	Cr	Ni	W	Nb	Mo	Ti	Прочие элементы	
08X16H9M2	0,08	0,60	1,0-1,5	15,5-17,0	8,5-10,0	-	-	1,0-1,5	-	-	
10X14H16Б	0,07-0,12	0,60	1,0-2,0	13,0-15,0	14,0-17,0	-	0,9-1,3	-	-	-	
10X18H12Т	0,12	0,75	1,0-2,0	17,0-19,0	11,0-13,0	-	-	-	(C-0,02) 50,7	-	
10X14H14B2M	0,15	0,80	0,70	13,0-15,0	13,0-16,0	3,0-4,0	-	0,45-0,60	-	-	
10X16H14B2BP	0,07-0,12	0,60	1,0-2,0	15,0-18,0	13,0-15,0	2,0-2,75	0,9-1,3	-	-	0,005B	
09X14H18BBP	0,07-0,12	0,60	1,0-2,0	13,0-15,0	18,0-20,0	2,0-2,75	0,9-1,3	-	-	0,005B	
10X15H18B4T	0,07-0,12	0,50	0,5-1,0	14,0-16,0	18,0-20,0	4,0-5,0	-	-	1,1	0,005B	
10X14H18B2BP1	0,07-0,12	0,60	1,0-2,0	13,0-15,0	18,0-20,0	2,0-2,75	0,9-1,3	-	-	0,011 - 0,016B	
20X23H13	0,20	1,0	2,0	22,0-25,0	12,0-15,0	-	-	-	-	0,025B	
08X23H8	0,1	1,0	2,0	22,0-25,0	17,0-20,0	-	-	-	-	-	
1X15H25M6A	0,12	0,5-1,0	1,0-2,0	15,0-17,0	24,0-27,0	-	-	5,5-7,0	-	0,1-0,2	
40X18H25C2	0,32-0,4	1,5	2,0-3,0	17,0-19,0	23,0-26,0	-	-	-	-	-	
20X25H20C2	0,2	2,0-3,0	1,5	24,0-27,0	18,0-21,0	-	-	-	-	-	
10X12H20T3P	0,10	1,0	1,0	10,0-12,5	18,0-21,0	-	-	-	2,3-2,8	0,5-0,008B	
10X15H35BT	0,12	0,6	1,0-2,0	14,0-16,0	34,0-38,0	2,8-3,5	-	-	1,1-1,5	-	
X15H35BTP	0,10	0,6	1,0	14,0-14,0	35,0-38,0	4,0-5,0	-	-	1,1-1,5	0,25-0,005B	

Таблица 4.2 Химический состав проволоки, применяемых для сварки высоколегированных сталей

Марка проволоки	Содержание элементов, в %										Прочие элементы
	C	Mn	Si	Cr	Ni	S	P	не более	8	9	
1	2	3	4	5	6	7	8				
Св-12Х11НМФ	0,08-0,15	0,35-0,65	0,25-0,55	10,5-12,0	0,6-0,9					Мо 0,60-0,90 V 0,25-0,50	
Св-10Х11НВМФ	0,08-0,13	0,35-0,65	0,30-0,60	10,5-12,0	0,8-1,1			0,030		Мо 1,0-1,3 V 0,25-0,50 W 1,0-1,4	
Св-12Х13	0,09-0,14	0,30-0,70	0,30-0,70	12,0-14,0	≤ 0,6	0,025				-	
Св-20Х13	0,16-0,24	≤ 0,60	≤ 0,60	12,0-14,0	-					-	
Св-06Х14	≤ 0,08	0,30-0,70	0,30-0,70	13,0-15,0	≤ 0,6					-	
Св-08Х14ГНТ	≤ 0,10	0,90-1,30	0,25-0,65	12,5-14,5	0,4-0,9					Ti 0,6-1,0	
Св-10Х17Т	≤ 0,12	≤ 0,70	≤ 0,80	16,0-18,0	≤ 0,6					Ti 0,2-0,5	
Св-13Х25Т	≤ 0,15	≤ 0,80	≤ 1,0	23,0-27,0	≤ 0,6					Ti 0,2-0,5	
Св-06Х24Н6ТАФМ	≤ 0,08	≤ 0,80	≤ 0,70	23,0-25,5	5,5-6,5	0,025	0,035			Мо 0,06-0,12 V 0,08-0,15 Ti 0,08-0,20 N 0,1-0,2	
Св-01Х19Н9	≤ 0,03	1,0-2,0	0,5-1,0	18,0-20,0	8,0-10,0	0,015				-	
Св-04Х19Н9	≤ 0,06	1,0-2,0	0,5-1,0	18,0-20,0	8,0-10,0					Мо 1,5-2,0	
Св-08Х16Н8М2	0,05-0,1	1,5-2,0	≤ 0,6	15,0-17,0	7,5-9,0	0,018	0,025			Мо 1,5-2,0	
Св-08Х18Н8Г2Б	0,05-0,1	1,8-2,3	0,3-0,7	17,5-19,5	8,0-9,0					Nb 1,2-1,5	
Св-07Х18Н9ГЮ	≤ 0,09	≤ 2,0	≤ 0,8	17,0-19,0	8,0-10,0	0,015	0,030			Ti 1,0 - 1,4 Al 0,6-0,95	
Св-06Х19Н9Т	≤ 0,08	1,0-2,0	0,4-1,0	18,0-20,0	8,0-10,0	0,015	0,030			Ti 0,5-1,0	
Св-04Х19Н9С2	≤ 0,06	1,0-2,0	2,0-2,75	18,0-20,0	8,0-10,0	0,018	0,025			V 1,8-2,4	
Св-08Х19Н9Ф2С2	≤ 0,10	1,0-2,0	1,3-1,8	18,0-20,0	8,0-10,0	0,025	0,030			V 2,2-2,7	
Св-05Х19Н9Ф3С2	≤ 0,07	1,0-2,0	1,3-1,8	18,0-20,0	8,0-10,0	0,025	0,030			Nb 1,2-1,5	
Св-07Х19Н10Б	0,05-0,09	1,5-2,0	≤ 0,7	18,5-20,5	9,0-10,5	0,018	0,025			Nb 0,9-1,3	
Св-08Х19Н10Г2Б	0,05-0,10	1,8-2,2	0,20-0,4	18,5-20,5	9,5-10,5	0,020	0,030			Мо 2,0-3,0	

Продолжение таблицы 4.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Св-06Х19Н10М3Т	≤0,08	1,0-2,0	0,3-0,8	18,0-20,0	9,0-11,0	0,018	0,025	Ti 0,5-0,8
Св-08Х19Н10М3Б	≤0,10	1,0-2,0	≤0,6	18,0-20,0	9,0-11,0	0,018	0,025	Mo 2,0-3,0 Nb 0,9-1,3
Св-04Х19Н11М3	≤0,06	1,0-2,0	≤0,6	18,0-20,0	10,0-12,0	0,018	0,025	Mo 2,0-3,0
Св-05Х20Н9ФБС	≤0,07	1,0-2,0	0,9-1,5	19,0-21,0	8,0-10,0	0,20	0,030	Nb 1,0-1,4 V 0,9-1,3
Св-08Х20Н9С2БТЮ	≤0,10	1,0-2,0	2,0-2,5	19,0-21,0	8,0-10,0	0,020	0,035	Ti 0,6-1,0 Nb 0,6-1,0 Al 0,3-0,7
Св-06Х20Н11М3ТБ	≤0,08	≤0,80	0,5-1,0	19,0-21,0	10,0-12,0	0,018	0,030	Mo 2,5-3,0 Nb 0,6-0,9 Ti 0,6-1,1
Св-10Х20Н15	≤0,12	1,0-2,0	≤0,8	19,0-22,0	14,0-16,0	0,018	0,025	-
Св-07Х25Н12Г2Т	≤0,09	1,5-2,5	0,3-1,0	24,0-26,5	11,0-13,0	0,020	0,035	Ti 0,6-1,0
Св-06Х25Н12ТЮ	≤0,08	≤0,80	0,6-1,0	24,0-26,5	11,5-13,5	0,020	0,030	Ti 0,6-1,0 Al 0,4-0,8
Св-07Х25Н13	≤0,09	1,0-2,0	0,5-1,0	24,0-26,5	12,0-14,0	0,018	0,025	-
Св-13Х25Н18	≤0,15	1,0-2,0	≤0,5	24,0-26,5	17,0-20,0	0,015	0,025	-
Св-08Х20Н9Г7Т	≤0,10	5,0-8,0	0,5-1,0	18,5-22,0	8,0-10,0		0,035	Ti 0,6-0,9
Св-08Х21Н10Г6	≤0,10	5,0-7,0	0,2-0,7	20,0-22,0	9,0-11,0		0,030	-
Св-30Х25Н16Г7	0,25-0,33	6,0-8,0	≤0,3	24,5-27,0	15,0-17,0	0,018	0,025	Mo 5,5-7,0 N 0,1-0,2
Св-10Х16Н25АМ6	0,8-0,12	1,0-2,0	≤0,6	15,0-17,0	24,0-27,0		0,018	Mo 5,5-7,0 V 0,7-1,0
Св-09Х16Н25М6АФ	0,07-0,11	1,0-2,0	≤0,4	15,0-17,0	24,0-27,0		0,018	N 0,1-0,2
Св-01Х23Н28М3Д3Т	≤0,03	≤0,55	≤0,55	22,0-25,0	26,0-29,0	0,018	0,030	Mo 2,5-3,0 Cu 2,5-3,5 Ti 0,5-0,9
Св-30Х15Н35В3Б3Т	0,27-0,33	0,5-1,0	≤0,6	14,0-16,0	34,0-36,0	0,015	0,025	W 2,5-3,5 Nb 2,8-3,5 Ti 0,2-0,7

Навчальне видання

**ТЕХНОЛОГІЯ ЗВАРЮВАННЯ
СПЕЦІАЛЬНИХ СТАЛЕЙ**

**Методичні вказівки
до практичних робіт**

для студентів спеціальності 7.092301
«Технологія та обладнання зварювання»
всіх форм навчання

(Російською мовою)

Укладач **ВЛАСОВ** Анатолій Федорович

За авторським редагуванням
Комп'ютерне верстання С. П. Шнурік

42/2014. Формат 60×84/16.
Ум. друк.арк 1,63. Обл.-вид.арк. 0,76.
Тираж пр. Зам. №

Видавець і виготівник
Донбаська державна машинобудівна академія
84313, м. Краматорськ, вул. Шкадінова, 72
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру
серія ДК №1633 від 24.12.2003