

# ПОЛУЧЕНИЕ РАВНОПРОЧНЫХ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЗАКАЛИВАЮЩИХСЯ СТАЛЕЙ БЕЗ ПОДОГРЕВА И ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

**А. Т. НАЗАРЧУК, В. В. СНИСАРЬ**, кандидаты техн. наук, **Э. Л. ДЕМЧЕНКО**, инж.  
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Рассмотрены возможности получения равнопрочных соединений высокопрочных закаливающихся сталей дуговой сваркой без подогрева и термообработки. Показана перспективность применения аустенитно-мартенситных материалов при сварке высокопрочных сталей без подогрева и термообработки с уровнем прочности металла шва 1150...1200 МПа.

*Ключевые слова:* сварка, закаливающиеся стали, высокопрочные стали, многослойные швы, высокопрочные швы, сварные соединения, замедленное разрушение, технологическая прочность, холодные трещины

Известно [1–5], что высокий уровень механических свойств высокопрочных сталей, а также восприимчивость их к закалке обуславливают ряд специфических трудностей, возникающих при сварке. Эти трудности и пути их преодоления рассматриваются на протяжении многих десятилетий, однако остаются актуальными и в настоящее время. Это прежде всего предупреждение возникновения холодных трещин в околошовной зоне и металле шва, а также кристаллизационных трещин в металле шва и горячих трещин в зоне термического влияния (ЗТВ), а также необходимость получения металла шва, ЗТВ и соединения в целом с механическими свойствами, равноценными или близкими к свойствам основного металла [1–3].

Особые трудности возникают в тех случаях, когда термообработка сварных соединений высокопрочных сталей невозможна (например, сварных соединений корпусов, сосудов, крупных сооружений), а также, когда вместо требуемой закалки с последующим отпуском приходится применять только отпуск [2, 3].

Из всех перечисленных трудностей, возникающих при сварке высокопрочных сталей, наиболее серьезными и специфическими являются связанные с проблемой обеспечения необходимой технологической прочности сварных соединений, в частности их стойкости против образования холодных трещин [1–5], и получения соединений, равнопрочных основному металлу.

На протяжении многих лет накоплен значительный объем данных, касающихся комплексной оценки технологической прочности соединений закаливающихся сталей с применением качественных (технологических проб) и количественных (инструментальных) методов испытаний [1–6]. В свое время особое внимание уделялось закалочной гипотезе образования холодных трещин, при этом

учитывалось отрицательное влияние водорода (водородная гипотеза) на сопротивляемость сварных соединений возникновению трещин.

В настоящее время по-прежнему исследуются различные аспекты влияния закалочных явлений [7–10, 11], а также содержания водорода [12–14] на стойкость сварных соединений закаливающихся сталей против образования холодных трещин.

С учетом существующих воззрений основными технологическими методами предупреждения образования холодных трещин в сварных соединениях высокопрочных закаливающихся сталей [1–3] являются следующие: рациональный выбор сталей для сварных конструкций; регулирование термического цикла сварки и управление им; различные виды подогрева при сварке; регулирование временных напряжений в процессе сварки; применение аустенитных сварочных материалов; уменьшение содержания водорода в основном металле и металле шва. Реже используется предварительная наплавка кромок, проковка сварных соединений и др. Рассматриваемые способы предупреждения образования холодных трещин чаще всего применяются совместно.

Применение основных технологических методов предупреждения образования холодных трещин в соединениях закаливающихся сталей возможно в двух направлениях: сварка материалами, однородными с основным металлом, и высоколегированными аустенитными материалами. Настоящая работа посвящена анализу этих направлений и возможности получения равнопрочных сварных соединений.

Известно [2, 3, 15], что при выполнении многослойных швов, металл которых однороден с основным металлом, возникают большие трудности с предупреждением образования поперечных холодных трещин как в ЗТВ, так и в металле шва.

В целом технологические особенности выполнения многослойных швов с металлом, однородным основному металлу, при соединении высокопрочных сталей, определяются требуемым уровнем ме-



**Таблица 1. Механические свойства некоторых легированных закаливаемых сталей при комнатной температуре\***

Марка стали	$\sigma_b$ , МПа	$\sigma_T$ , МПа	$\delta$ , %	$\psi$ , %	$KCU$ , Дж/см <sup>2</sup>
14ХН4МДА	960...1020	850...880	15...16	52...60	165...185
15Х2Н4МДА	950...980	800...820	25...30	55...60	210...220
30Х2Н2М	1100...1120	950...1010	10...12	40...45	100...125

\* Материал в состоянии закалки и отпуска.

ханических свойств этих соединений и их технологической прочностью.

На основе анализа испытания сварных соединений с многослойными швами [16, 17] использовался комплексный подход к оценке склонности таких соединений к образованию трещин. При этом принимались во внимание закалочные явления и учитывалась исключительная важность влияния водорода на технологическую прочность соединений.

Подход основывается на следующих положениях. Результаты испытаний должны давать объективные представления о стойкости соединений как против продольных, так и поперечных холодных трещин. При проведении испытаний необходимо учитывать влияние изменения напряжений при сварке, обусловленных изменением объема металла за счет термического воздействия и фазовых превращений.

Установлена возможность использования методики [16, 17] составных образцов не только для оценки металла шва, но и сварного соединения в целом. Эта методика позволяет оценить взаимное влияние металла шва на металл ЗТВ, и наоборот. Полученные результаты, хорошо согласуются с результатами крупногабаритных технологических проб [17].

Для однородных сварных соединений важно управление закалочными явлениями в зоне сварки путем выбора и целенаправленного получения оптимального термического цикла сварки в ЗТВ. Важное значение приобретают вопросы автоподогрева и автотермообработки металла в зоне сварки при выполнении многослойных швов, в том числе и оптимизация заполнения разделки при сварке в узкий зазор [18].

Эффективным способом повышения технологической прочности и механических характеристик сварных соединений является управление кристаллизацией металла шва и термомодеформационным циклом сварки за счет периодического тепловложения, порционного формирования металла шва и его кристаллизации [19, 20]. Основные закономерности решения этих проблем следующие: измельчение первичных кристаллитов при кристаллизации металла шва; изменение ориентации фронта встречи кристаллитов металла шва, их дезориентация; устранение «слабины» по середине шва; изменение характера роста кристаллитов металла шва; прерывистость их роста от слоя к слою; измельчение вторичной структуры как в металле шва, так и в ЗТВ сварных соединений; дополнительное управление термическим циклом сварки. В работе [20] показана возможность управления скоростью охлаждения металла в зоне сварки в нижнем субкритическом интервале температур за счет опти-

мального сочетания продолжительности горения дуги и длительности паузы между смежными периодами ее горения. Эти параметры, а также сварочный ток и скорость формирования [20] швов оказывают определяющее влияние на стойкость сварных соединений как против холодных, так и горячих трещин при порционном формировании сварных швов.

С учетом изложенных представлений получение соединений высокопрочных сталей типа 14ХН4МДА, 15Х2Н4МДА, 30Х2Н2М (табл. 1) дуговой сваркой плавлением без подогрева и термической обработки с выполнением швов, имеющих металл, близкий по составу основному металлу, ограничивается следующими условиями: толщина металла не более 80...100 мм; термический цикл сварки должен обеспечивать в металле ЗТВ распад переохлажденного аустенита с образованием структур, которые характеризуются достаточной стойкостью против образования холодных трещин; если не удастся предотвратить формирование структур, способствующих образованию холодных трещин, необходимо предусматривать автотермообработку сварного соединения непосредственно со сварочного нагрева; для дополнительного управления термическим циклом сварки целесообразно осуществлять автоподогрев, порционное формирование швов или использовать их совместное действие; концентрация диффузионного водорода в расплавленном металле не должна превышать 1,0...1,5 см<sup>3</sup> на 100 г металла.

Способы автоподогрева и автотермообработки основываются на оптимизации воздействия тепла, затрачиваемого на выполнение предыдущего и последующих слоев многослойного шва. При механизированных видах сварки крупногабаритных изделий представляется возможным использовать только два таких способа — сварку с возвратно-поступательными перемещениями дуги и двухдуговую сварку в отдельные ванны со строго определенным расстоянием между дугами.

В случае сварки тел вращения (выполнение кольцевых швов) диаметром до 400...500 мм проблемы автоподогрева и автотермообработки не вызывают трудностей, поскольку самому процессу присуще периодическое воздействие тепла, выделяющееся при выполнении последующих слоев. При уменьшении диаметра изделий иногда следует принимать меры по ограничению температуры автоподогрева.

В основном сварка с возвратно-поступательными перемещениями дуги дает хорошие результаты, однако, к сожалению, вопросы, касающиеся техники ведения процесса и его автоматизации остаются пока еще не решенными. В итоге, при дуговой сварке высокопрочных сталей швами с металлом, однородным с основным металлом, без подогрева и термообработки набор средств и методов предотвращения трещин весьма ограничен.

В настоящее время при дуговой сварке крупногабаритных конструкций из высокопрочных сталей, обеспечивающей выполнение швов с металлом, однородным по составу основному металлу, можно

рекомендовать следующие технологические решения:

дуговую сварку плавящимся электродом в узкий зазор с оптимизацией термического цикла сварки путем рационального выбора ширины зазора и использования поперечных колебаний электрода;

дуговую сварку плавящимся электродом с порционным формированием швов для управления кристаллизацией металла и термическим циклом сварки [19, 20];

двухдуговую сварку с заданным расстоянием между дугами для обеспечения автоподогрева и автотермообработки сварных соединений [21];

сочетание порционного формирования швов с автоподогревом при одно- или двухдуговой сварке [20];

оптимизацию процесса дуговой сварки путем рационального заполнения разделки (способ характеризуется периодическим выполнением многослойных слоев непосредственно в разделке на спуск или подъем [18], что эффективно можно реализовать при сварке в узкий зазор);

двухдуговую сварку с оптимальным расстоянием между дугами с использованием высокопрочных проволок различных составов.

Упомянутые решения отдельно или при их совместном действии, как правило, позволяют обеспечить необходимую технологическую прочность соединений высокопрочных сталей при сварке их без подогрева и получении металла швов, близкого по составу к основному металлу. Однако выполнение таких швов и соединений в целом при сварке высокопрочных сталей без полной последующей термической обработки может вызывать затруднения в части обеспечения равнопрочности. Так, при сварке сталей, например 14ХН4МДА и 30Х2Н2М, прочность металла швов составляла 750...850 МПа при прочности основного металла — до 900...1050 МПа.

В плане повышения прочности металла швов, близкого по составу к основному металлу, представляет интерес сварка двумя дугами с использованием высокопрочных проволок различных составов. Особенно благоприятен процесс, при котором первая дуга горит в защитном газе, а вторая — под флюсом. Такое решение позволяет использовать проволоки для второй дуги с составом, аналогичным основному металлу. Это открывает возможности выполнения многослойных композитных швов, у которых металл каждого слоя имеет различные свойства.

Результаты изучения влияния соотношения слоев с различными свойствами на механические характеристики двухслойного металла представлены в работе [22]. Так, прочностные характеристики двухслойных образцов, например при 30 % твердой (высокопрочной) и 70 % мягкой (менее прочной) составляющих, находятся на уровне прочности основного металла (стали 30Х2Н2М). При этом пластичность и ударная вязкость превышают аналогичные показатели более прочной структурной составляющей [22]. Комплексная оценка показывает, что такой композитный металл шва, состоящий из слоев с различными свойствами, обладает более

высокими механическими свойствами, чем его отдельные составляющие.

Вторым направлением получения сварных соединений высокопрочных сталей с высокой стойкостью против образования холодных трещин является дуговая сварка высокопрочных сталей без предварительного подогрева и последующей термообработки с применением сварочных материалов, обеспечивающих получение аустенитного металла шва. Однако из-за низкого уровня прочности аустенитного металла шва для обеспечения равнопрочности сварных соединений швы необходимо выполнять с большим усилением. Это приводит к существенным увеличениям объема сварочных работ и расхода дорогостоящих сварочных материалов. Кроме того, чрезмерное усиление сварного шва создает концентрацию напряжений, что в ряде случаев снижает работоспособность сварного соединения.

В ИЭС им. Е. О. Патона предложен новый способ сварки высокопрочных закаливающихся сталей [23], заключающийся в применении сварочных материалов, обеспечивающих образование в металле шва структуры с распадом аустенита при температуре ниже 200 °С и продуктов распада, способствующих получению металла шва с высокими прочностными характеристиками при хорошем уровне пластичности и вязкости. Этот способ сварки основан на положительном влиянии аустенитного металла шва на кинетику фазовых превращений в ЗТВ высокопрочной стали и изменении характера распределения напряжений в сварном соединении. Его применение позволяет осуществить сварку высокопрочных закаливающихся сталей без предварительного подогрева и последующей термообработки изделий (как и в случае выполнения аустенитного сварного шва), но получить при этом сварные соединения равнопрочные основному металлу. Одним из вариантов практического осуществления предложенного способа является применение сварочных высоколегированных материалов, обеспечивающих получение металла шва, имеющего химический состав и структуру низкоуглеродистого мартенсита или аустенитно-мартенситной стали.

В ИЭС им. Е. О. Патона разработаны технологии и материалы для ручной и механизированной сварки [24–27]. Технология ручной электродуговой сварки предусматривает использование новых, созданных в ИЭС им. Е. О. Патона, электродов марок АНВП-60, АНВП-80 и АНВП-100, которые обеспечивают получение металла шва с пределом текучести соответственно 600, 800 и 1000 МПа. Для механизированной сварки в углекислом газе или смеси  $Ag + CO_2$  разработана порошковая проволока ППАНВП-80. При сварке под флюсом рекомендуется использовать керамический флюс, проволоку сплошного сечения ЭК-17ВИ и порошковую проволоку ППАНВП-80. Благодаря этим материалам при сварке высокопрочной стали, например 15Х2Н4МДА, обеспечивается получение аустенитно-мартенситного металла шва с твердостью на уровне  $HV 3000$  МПа. Механические свойства металла шва, полученного при



Таблица 2. Механические свойства металла шва, полученного при сварке стали 15Х2Н5МДА

Сварочный материал	Способ сварки	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\delta$ , %	$\psi$ , %	$KCU_{20}$ , Дж/см <sup>2</sup>	$KCV_{-60}$
АНВП-60	Ручная	600...700	1000...1100	15...18	40...50	105...110	60...80
АНВП-80	»»	780...850	1050...1150	15...18	40...50	100...110	60...80
АНВП-100	»»	950...1050	1150...1200	12...16	25...35	70...90	50...70
ППАНВП-80	Механизированная сварка в углекислом газе	750...900	1000...1200	14...16	30...40	60...70	45...50
ЭК-17ВИ	Под флюсом	840...910	1150...1190	18...22	45...50	65...75	50...55
ППАНВП-80	»»	750...800	900...1000	18...25	35...40	65...75	50...55

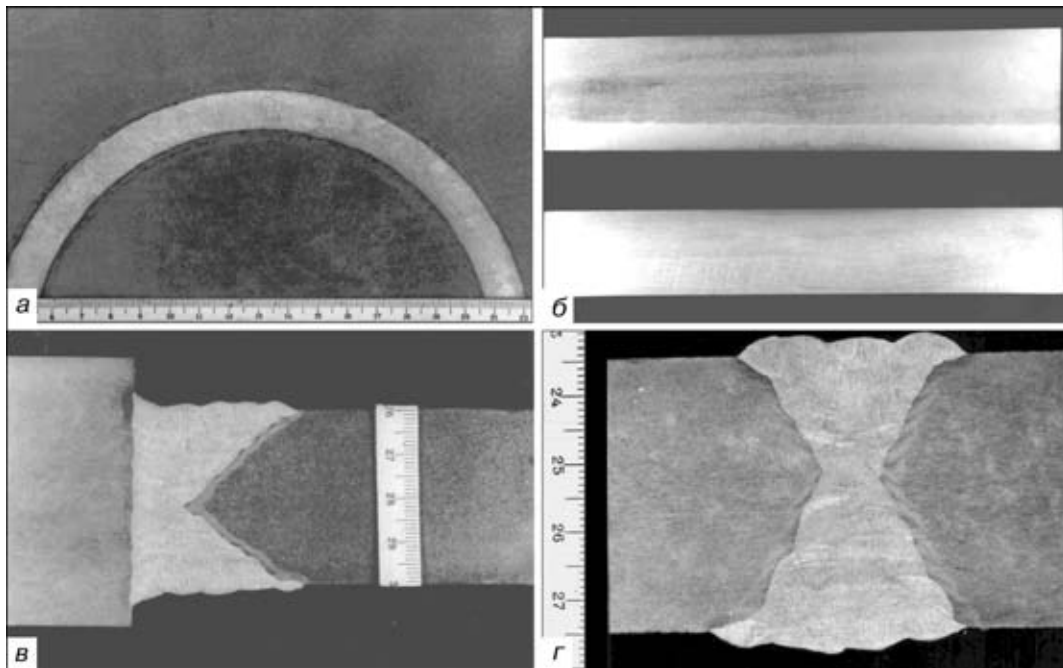


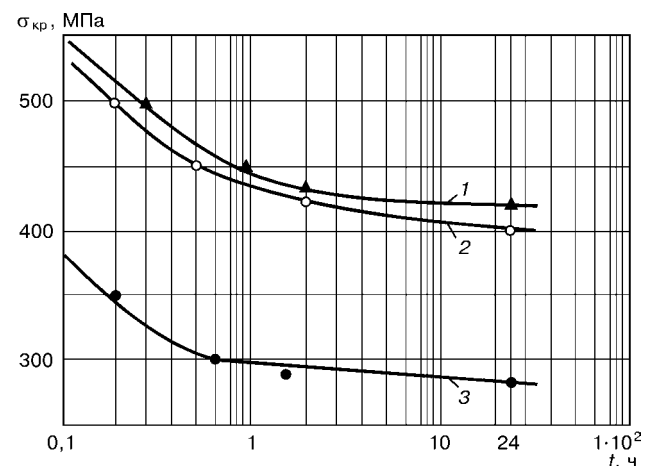
Рис. 1. Характерный вид продольных (а, б) и поперечных (в, г) макрошлифов, вырезанных из жестких технологических проб сварных соединений стали 15Х2Н4МДА. Сварка выполнена без подогрева и термообработки электродами АНВП-80

сварке указанной стали представлены в табл. 2. Изготовление новых сварочных материалов освоено опытным производством ИЭС им. Е. О. Патона (проволока — по ТУ ИЭС 775-90; электроды — по ТУ ИЭС 721-89).

Следует отметить, что стали и сварные швы с указанным уровнем механических свойств могут иметь склонность к замедленному разрушению и образованию холодных трещин, особенно при повышенной концентрации водорода. Причем, чем выше уровень прочностных свойств металла, тем больше проявляется отрицательное влияние водорода.

В связи с этим при создании указанных сварочных материалов особое внимание уделялось обеспечению минимальной концентрации водорода в металле шва. Удачное сочетание компонентов, входящих в состав керамического флюса, электродных покрытий и сердечника порошковой проволоки, их оптимальное соотношение в сочетании с рядом технологических мер [28] позволили решить указанную проблему. Так, при сварке на постоянном токе обратной полярности новые материалы обеспечивают в металле шва низкую концентрацию водорода: диффузионно-подвижного (определяемого хроматографическим способом) — на уровне 1,3...2,0 см<sup>3</sup>/100 г, остаточного (опре-

деляемого методом восстановительного плавления в струе газонесителя) — 0,3...1,0 см<sup>3</sup>/100 г, суммарного — не более 3,0 см<sup>3</sup>/100 г. Такая концентрация водорода не оказывает существенного влияния на стойкость сварного соединения против образования холодных трещин.

Рис. 2. Сопротивление замедленному разрушению сварных соединений стали 30Х2Н2М, выполненных без подогрева и термообработки электродами ЛО-1 (1), УОНИ 13/45 (2), АНВП-80 (3):  $\sigma_{кр}$  — критическое напряжение при замедленном разрушении

**Таблица 3. Обобщенные технологические рекомендации по сварке некоторых легированных высокопрочных сталей без подогрева**

Марка стали	Сортамент металла	Сварочные материалы	Способ сварки, основные технологические рекомендации
14ХН4МДА	Лист толщиной 40 мм	Однородные с основным металлом	Сварка двухдуговая плавящимся электродом в защитных газах; расстояние между дугами 250... 275 мм; погонная энергия каждой дуги 24,5... 25,5 кДж/см
15Х2Н4МДА	То же	Высоколегированные аустенитно-мартенситные	Ручная электродуговая; механизированная сварка в углекислом газе или смесях; сварка под керамическим флюсом; режимы, аналогичные применяемым при сварке аустенитными материалами
30Х2Н2М	Лист толщиной 80 мм	Однородные с основным металлом	Сварка двухдуговая; сварка одnodуговая с возвратно-поступательными перемещениями электрода по схеме 3 слоя за проход [18]; расстояние между дугами или длина участка автоподогрева 265... 285 мм; погонная энергия 26,0... 28,5 кДж/см
35ХН3М+Ст3	Поковка + лист	То же	Сварка двухдуговая; расстояние между дугами 275... 325 мм; погонная энергия около 40 кДж/см

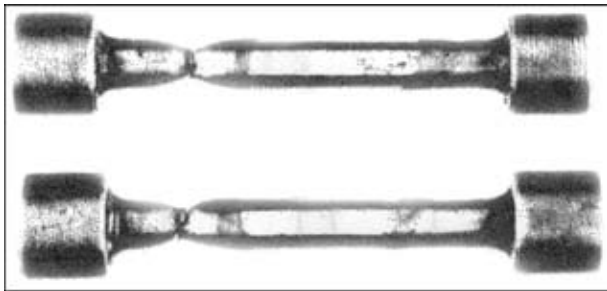


Рис. 3. Вид образцов сварного соединения стали 15Х2Н4МДА, выполненного электродами АНВП-80, после испытания на статическое растяжение при температуре 20 °С

Оценка стойкости сварных соединений, выполненных по новым технологиям, против образования трещин проводилась на листах стали 15Х2Н4МДА (см. табл. 1) толщиной 40 мм с использованием известных технологических проб ЦНИИТС «круглый вварыш» [4], а также испытанием на замедленное разрушение по методу Имплант [29]. Проведенная оценка показала, что новые материалы позволяют получить при сварке высокопрочных сталей без подогрева и термообработки качественные сварные соединения с достаточной стойкостью против образования холодных трещин и сопротивлением замедленному разрушению, близким к варианту аустенитного шва. В подтверждение этого на рис. 1 приведен характерный вид продольных

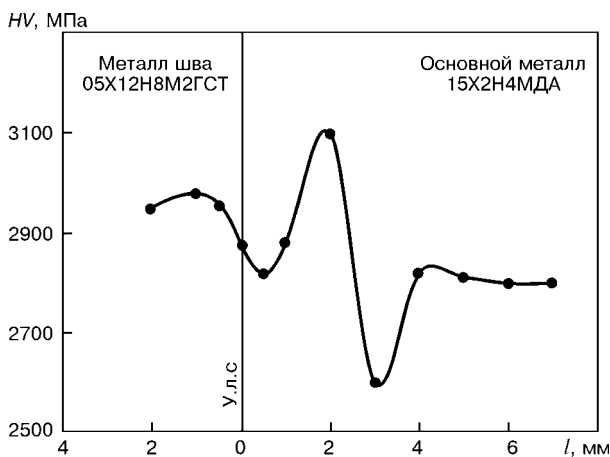


Рис. 4. Распределение твердости в зоне сплавления аустенитно-мартенситного шва со сталью 15Х2Н4МДА при сварке без подогрева и термообработки электродами АНВП-80: У.л.с — условная линия сплавления; l — расстояние от У.л.с

и поперечных макрошлифов из технологических проб ЦНИИТС и «круглый вварыш», а на рис. 2 показаны кривые замедленного разрушения (по методу Имплант) сварных соединений, выполненных аустенитными ЛО-1, перлитными УОНИ-13/45 и аустенитно-мартенситными АНВП-80 электродами.

Механические свойства сварных соединений высокопрочной стали 15Х2Н4МДА, полученные без предварительного подогрева и последующей термообработки с использованием электродов АНВП-80, характеризуются следующими показателями: цилиндрические образцы вырезаны из соединения поперек шва, при испытании на статическое растяжение при температуре 20 °С разрушаются по основному металлу вне ЗТВ (рис. 3) с пределом текучести 840... 930 МПа, ударная вязкость при испытании образцов Менаже с полукруглым надрезом по линии сплавления составляет 130... 200 Дж/см<sup>2</sup>, а с надрезом по металлу ЗТВ на расстоянии 1 мм от линии сплавления — 150... 160 Дж/см<sup>2</sup>. Твердость металла ЗТВ не превышает HV 3250 МПа (рис. 4), а его структура характеризуется как верхний бейнит (рис. 5).

Обобщенные технологические рекомендации по сварке некоторых легированных сталей без подогрева приведены в табл. 3.

Представляется весьма перспективным путь использования для сварки высокопрочных сталей композитных сварных швов, выполненных аустенитными и аустенитно-мартенситными материалами. Как показано в работе [22], механические свойства композитных двухслойных образцов мож-

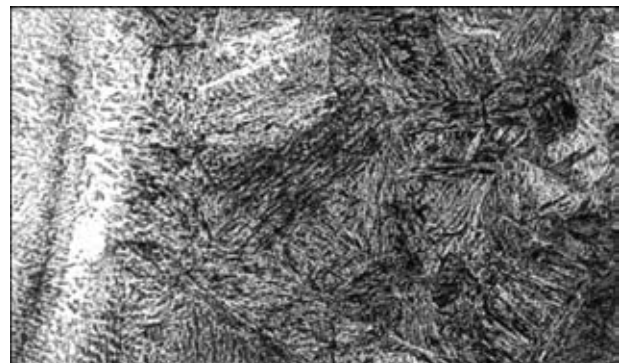


Рис. 5. Микроструктура (X500) металла ЗТВ сварного соединения стали 15Х2Н4МДА, выполненного без подогрева и термообработки электродами АНВП-80



но в значительной мере регулировать соотношением твердых и мягких слоев. Изменяя в многослойном шве количество слоев, выполненных аустенитными и аустенитно-мартенситными материалами, можно получать швы с наиболее оптимальным соотношением прочности и пластичности, определяемых исходя из механических свойств конкретной свариваемой стали.

## Выводы

1. Выполнение указанных рекомендаций по сварке высокопрочных закаливающихся сталей без подогрева и термообработки при получении швов, однородных с основным металлом, обеспечивают необходимую стойкость соединений против образования холодных трещин при прочности металла шва до 850 МПа.

2. Разработанные аустенитно-мартенситные материалы при сварке закаливающихся сталей без подогрева и термообработки позволяют достичь уровня прочности металла шва до 1200 МПа при обеспечении необходимой технологической прочности.

3. Для дальнейшего повышения прочности металла шва в сварных соединениях высокопрочных сталей, полученных без подогрева и термообработки, можно рекомендовать выполнение композитных швов, которые состоят из отдельных слоев с различной прочностью.

1. *Технология* электрической сварки плавлением / Под ред. Б. Е. Патона. — М.; К.: Машигиз, 1962. — 663 с.
2. *Технология* электрической сварки металлов и сплавов плавлением / Под ред. Б. Е. Патона. — М.: Машиностроение, 1974. — 767 с.
3. *Макара А. М.* Исследование вопросов технологии и металловедения сварки легированных конструкционных сталей. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1963. — 500 с.
4. *Макаров Э. Л.* Холодные трещины при сварке. — М.: Машиностроение, 1981. — 248 с.
5. *Шоршоров М. Х.* Металловедение сварки стали и титана. — М.: Наука, 1965. — 336 с.
6. *Касаткин С. Б., Миходуй Л. И., Гордонный В. Г.* Методические подходы к комплексному исследованию замедленного и хрупкого разрушения высокопрочных низколегированных сталей // *Автомат. сварка.* — 1996. — № 2. — С. 58–60.
7. *Касаткин Б. С., Бреднев В. И.* Особенности механизма образования холодных трещин в сварных соединениях высокопрочных сталей // *Там же.* — 1985. — № 8. — С. 1–6, 18.
8. *Оценка* сопротивляемости сварных соединений стали 15Х2МФА образованию холодных трещин / Б. С. Касаткин, В. И. Бреднев, А. К. Царюк, Ю. М. Журавлев // *Там же.* — 1993. — № 5. — С. 3–7.
9. *Царюк А. К., Бреднев В. И.* Проблемы предупреждения холодных трещин // *Там же.* — 1996. — № 1. — С. 36–40.
10. *Царюк А. К., Бреднев В. И.* К вопросу о природе образования холодных трещин при сварке закаливающихся сталей // *Там же.* — 1998. — № 10. — С. 9–13.
11. *Миходуй Л. И., Позняков В. Д., Ющенко А. К.* Сопротивляемость замедленному разрушению сварных соедине-

- ний стали 12ХГН2МФДРА // *Там же.* — 2000. — № 11. — С. 5–10.
12. *Мусяиченко В. Ф., Касаткин С. Б.* Распределение водорода в сварном соединении легированной стали и его влияние на образование холодных трещин (Обзор) // *Там же.* — 1985. — № 9. — С. 3–8.
  13. *Походня И. К., Швачко В. И.* Физическая природа обусловленных водородом холодных трещин в сварных соединениях конструкционных сталей // *Там же.* — 1997. — № 5. — С. 3–12.
  14. *Походня И. К., Степанюк С. Н., Швачко В. И.* Роль температуры при индуцированном водородном растрескивании конструкционных сталей в сварных соединениях // *Там же.* — 2000. — № 2. — С. 3–8.
  15. *Холодные* трещины в низколегированных высокопрочных швах / А. М. Макара, В. Г. Гордонный, А. Т. Дибец и др. // *Там же.* — 1971. — № 11. — С. 1–4.
  16. *Назарчук А. Т., Стеренбоген Ю. А., Косяков В. П.* Методика оценки склонности металла шва к образованию поперечных холодных трещин // *Там же.* — 1984. — № 12. — С. 7–10.
  17. *Назарчук А. Т., Свердел И. П.* Стойкость соединений закаливающихся сталей с многослойными швами против образования трещин // *Там же.* — 1994. — № 1. — С. 15–19.
  18. *Назарчук А. Т., Стеренбоген Ю. А.* Об оптимизации процесса дуговой сварки путем рационального заполнения разделки // *Там же.* — 1984. — № 11. — С. 46–49.
  19. *Назарчук А. Т.* Управление кристаллизацией металла шва и термомеханическим циклом при автоматической дуговой сварке // *Там же.* — 1994. — № 5–6. — С. 3–9.
  20. *Назарчук А. Т.* Влияние порционно-дискретного формирования швов на термический цикл дуговой сварки плавлением // *Там же.* — 1997. — № 5. — С. 13–17.
  21. *Назарчук А. Т., Свердел И. П., Никулин В. А.* Двухдуговая сварка без подогрева бандажей из сталей 34ХН1М и 34ХН3М с дисками крупноабаритных зубчатых колес из Ст3 // *Там же.* — 1995. — № 1. — С. 30–34.
  22. *Назарчук А. Т.* Изучение влияния соотношения слоев с различными свойствами на механические характеристики двухслойных стальных образцов // *Там же.* — 1992. — № 7. — С. 27–29, 32.
  23. *А. с. 880671 СССР, МКП В 23 К 28/00.* Способ дуговой сварки закаливающихся сталей / Ю. Н. Готальский, В. В. Снисарь, А. Л. Купорев и др. — Опубл. 15.11.81; Бюл. № 43.
  24. *А. с. 1689007 СССР, МКП В 23 К 35/36.* Сварочный электрод для сварки без подогрева и термообработки низко- и среднелегированных высокопрочных закаливающихся сталей / В. Н. Липодаев, Ю. Н. Готальский, В. В. Снисарь и др. — Опубл. 08.07.91; Бюл. № 41.
  25. *А. с. 1785860 СССР, МКП В 23 К 35/365.* Электрод для сварки высокопрочных сталей / Э. Л. Демченко, И. В. Ляховая, В. В. Снисарь и др. — Опубл. 08.09.92; Бюл. № 1.
  26. *Сварка* высокопрочных сталей с пределом текучести более 800 МПа без подогрева и термообработки / Ю. Н. Готальский, В. В. Снисарь, Э. Л. Демченко и др. // *Автомат. сварка.* — 1990. — № 10. — С. 38–40.
  27. *Снисарь В. В., Демченко Э. Л., Иванченко Э. В.* Перспективные технологии сварки высокопрочных сталей без подогрева и термической обработки // *Там же.* — 2000. — № 11. — С. 35–38.
  28. *Пути* снижения содержания водорода в металле шва типа 03Х12Н8М2ГСТ при дуговой сварке / Э. Л. Демченко, В. В. Снисарь, В. Н. Липодаев и др. // *Там же.* — 1991. — № 10. — С. 23–27.
  29. *Снисарь В. В., Демченко Э. Л., Гайворонский А. А.* Влияние структуры шва на свойства зоны термического влияния сварных соединений стали 30Х2Н2М // *Там же.* — 1993. — № 9. — С. 43–45.

Considered are the known versions of producing full-strength joints in high-strength quenching steels made by arc welding without preheating and heat treatment. It is shown that the use of austenitic-martensitic consumables hold high promise for welding high-strength steels without preheating and heat treatment, the level of strength of the weld metal being 1150...1200 МПа.

Поступила в редакцию 11.02.2002,  
в окончательном варианте 04.12.2002