

ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОГО ЦИКЛА СВАРКИ НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛА ЗТВ ВЫСОКОПРОЧНОЙ СТАЛИ КОНТРОЛИРУЕМОЙ ПРОКАТКИ

В. Д. ПОЗНЯКОВ, А. В. ЗАВДОВЕЕВ, С. Л. ЖДАНОВ, А. В. МАКСИМЕНКО

ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины. 03150, г. Киев, ул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

В настоящее время наметились тенденции к разработке высокопрочных легированных сталей с пределом текучести более 590 МПа, в которых термическая обработка (закалка и отпуск) заменяется на процесс контролируемой прокатки с последующим ускоренным охлаждением. Сегодня применение технологий сварки таких сталей основано лишь на рекомендациях производителя металла и сварочных материалов, а также эквиваленте углерода. Учитывая, что новое поколение сталей, в том числе и alform 620M, получены благодаря комплексному использованию как микролегирования, так и термомеханической обработки с последующим ускоренным охлаждением, полученные свойства могут быть утрачены в результате разупрочнения при переделах, связанных с нагреванием стали. Так как уровень изменения механических свойств металла ЗТВ определяет свариваемость стали, на первом этапе исследований рассматривается влияние термических циклов сварки на свойства и структуру металла ЗТВ высокопрочной стали alform 620M. В результате проведенных исследований установлено, что оптимальные сочетания механических свойств и структуры можно достичь при скорости охлаждения металла ЗТВ сварных соединений более 25 °C/с. Библиогр. 10, табл. 2, рис. 4.

Ключевые слова: высокопрочная сталь, контролируемая прокатка, термические циклы сварки, зона термического влияния, структура, свойства

Снижение удельного веса конструкций, при условии обеспечения необходимой их эксплуатационной надежности, является одной из главных задач, повседневно решаемых создателями машин, механизмов и металлоконструкций. Успешное выполнение этой задачи в значительной мере определяется свойствами сталей, которые применяются для их изготовления. В первую очередь речь идет о прочности стали как при статических, так и динамических нагрузках. Одним из направлений повышения прочности стального проката является получение закаливающих структур путем термического улучшения низкоуглеродистого металла (закалки и отпуска) и ограниченного легирования марганцем, хромом, никелем, молибденом в сочетании с карбидо- и нитридообразующими элементами [1]. Наряду с высокими показателями прочности ($\sigma_{0,2} \geq 590$ МПа) легированные стали, такие как 14X2ГМР, 12ГН2МФАЮ, 14ХН2МДАФБ и др., имеют достаточный запас пластичности, хорошо сопротивляются хрупкому разрушению и удовлетворительно свариваются, о чем свидетельствует полувековой опыт эксплуатации сварных конструкций, изготовленный из них: мощных карьерных экскаваторов, автомобилей большой грузоподъемности, подъемно-транспортных механизмов, строительной и дорожной техники.

В настоящее время наметились тенденции к разработке высокопрочных легированных сталей с $\sigma_{0,2} \geq 590$ МПа, в которых термическая обработка заменяется на процесс контролируемой прокатки с последующим ускоренным охлаждением. Такие стали начали поступать на рынок металла Украины и могут применяться в машиностроении, металлургии, горнодобывающей и перерабатывающей отраслях. Например, на металлургических предприятиях Украины для откачивания продуктов сгорания мартеновских печей, агломерационных и конвертерных газов используются радиальные нагнетатели [2] (эксгаустеры) типа Н7500 клепанной конструкции. Для замены или ремонта эксгаустера необходимо останавливать производственную линию на период от нескольких часов до нескольких суток, что влияет на производительность агломерационного, мартеновского и конверторного процесса. Сам процесс ремонта эксгаустера очень длительный и трудоемкий, так как в основном эксплуатируются эксгаустеры с клепанным рабочим колесом (при ремонте необходима замена лопаток или лопаток и центрального диска). В связи с коротким сроком эксплуатации и необходимостью частого планового ремонта рабочего колеса Н7500 с привлечением специалистов ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины разработана принципиально новая сварная конструкция [2]. Как известно, наиболее на-

Таблица 1. Химический состав стали alform 620M, мас. %

C	Si	Mn	P	S	Al	Cr	Mo	Ni	V	Nb	Ti	B
0,08	0,37	2,0	0,005	0,01	0,027	0,38	0,21	0,02	0,01	0,043	0,017	0,001

грузенной частью рабочего колеса является его центральный диск. Основными требованиями при выборе материала для изготовления именно этой детали были: определенный процент содержания углерода (для обеспечения хорошей свариваемости), а также расчетные величины предела текучести (более 600 МПа) (для сохранения целостности конструкции при работе в диапазоне повышенных температур) и относительного удлинения (для обеспечения пластичности конструкции). Исходя из этих данных выбрана высокопрочная низколегированная сталь alform 620M, микролегированная ниобием и ванадием производства австрийской компании, которая поставляется в состоянии после контролируемой прокатки и ускоренного охлаждения.

По данным стандарта EN10025-2, данная сталь характеризуется следующими механическими свойствами: повышенными прочностными свойствами ($\sigma_T > 620$ МПа, $\sigma_B = 730$ МПа); высокой пластичностью ($\delta_5 = 23$ %) и ударной вязкостью ($KCV_{40} > 34$ Дж/см²). Такие механические свойства обеспечивает мелкодисперсная структура, полученная контролируемой прокаткой и последующим ускоренным охлаждением. Данные стали имеют преимущественно бейнитную структуру [3–5]. Добавление ванадия, ниобия и титана способствует реаустенизации металла, препятствуя росту аустенитного зерна. Дисперсионное упрочнение эффективно контролируется содержанием ванадия. Одной из важнейших механических характеристик является ударная вязкость, которая также имеет отличия как в ниобиевых, так и в ниобийванадиевых сталях [6, 7]. Максимальная ударная вязкость стали с ниобием соответствует скорости охлаждения 20 °C/с, в то время как для стали с добавлением ванадия данная температура сдвигается до 60 °C/с. С уменьшением скорости охлаждения до 6 °C/с наблюдается существенное понижение ударной вязкости обеих сталей, что связано с формированием гранулярного бейнита. Понижение пластичности данных сталей связывается с выделением хрупких включений по границам бейнита, ростом аустенитного зерна в процессе сварки и смене морфологии бейнита с пластинчатого на гранулярный.

Сегодня применение технологий сварки высокопрочных сталей, полученных методами контролируемой прокатки, основано лишь на рекомен-

Таблица 2. Механические свойства стали alform 620M

σ_T , МПа	σ_B , МПа	δ_5 , %	ψ , %
667	731	24	77

дациях производителя металла [8, 9] и сварочных материалов, а также эквиваленте углерода. Для создания ответственных сварных конструкций, использующих переделы, связанные с нагреванием от 300 до 1500 °C, работающих в условиях динамического и переменного нагружения, этого явно недостаточно. Учитывая, что новое поколение сталей, в том числе и alform 620M, получены благодаря комплексному использованию как микролегирования, так и термомеханической обработки с последующим ускоренным охлаждением, полученные свойства могут быть утрачены в результате разупрочнения при переделах, связанных с нагреванием стали. Известно, что структура и механические свойства металла могут существенно изменяться под влиянием термических циклов сварки (ТЦС). По результатам исследований, выполненных на высокопрочной стали S460M [10], изготовленной контролируемой прокаткой с последующим ускоренным охлаждением, установлено влияние термических циклов сварки на свойства и структуру металла ЗТВ. Показано, что с увеличением скорости охлаждения металла ЗТВ $w_{6/5}$ от 3 до 25 °C/с ферритно-перлитная структура переходит в бейнитную, что обуславливает повышение твердости с HV 190 до HV 280, а также повышение прочностных характеристик [10]. Однако остается актуальным вопрос изучения свариваемости стали более высокого класса прочности. Так как уровень изменения механических свойств металла ЗТВ определяет свариваемость стали, на первом этапе исследований рассматривается влияние термических циклов сварки на свойства и структуру металла ЗТВ высокопрочной низколегированной стали alform plate 620M, микролегированной ниобием и ванадием.

Методика эксперимента. Для проведения экспериментов была взята конструкционная сталь alform 620M которая поставляется в состоянии после контролируемой прокатки. Химический состав данной стали приведен в табл. 1, а ее механические свойства в табл. 2.

Как уже упоминалось, структура и свойства металла ЗТВ стального проката могут изменяться под воздействием термических циклов сварки. Поэтому на начальном этапе работы было изучено это влияние на сталь alform 620M. В качестве критерия ТЦС принимали скорость охлаждения металла в интервале температур 600...500 °C ($w_{6/5}$), нагретого до температур 1200...1300 °C. По результатам исследований определены предельные скорости охлаждения ($w_{6/5min}$ и $w_{6/5max}$), меньше и больше которых происходит снижение показателя

телей прочности и пластичности металла ЗТВ по сравнению с регламентированными требованиями к сварным соединениям. Изменение показателей механических свойств в зависимости от скорости охлаждения металла ЗТВ в интервале температур 600...500 °С изучали с использованием модельных образцов размером 120×12×12 мм, которые термообработаны в соответствии с термическими циклами сварки на установке МСР-75. Процесс термообработки заключался в следующем. Сначала образцы током, проходящим через них, нагревались до температур 1200...1300 °С, которые характерны для участка перегрева ЗТВ сварных соединений. Скорость нагрева образцов составляла 150...170 °С/с, что соответствует условиям нагрева металла в зоне термического влияния при дуговых процессах сварки. При данной температуре образцы выдерживались в течение ориентировочно двух секунд, а затем принудительно охлаждались. Скорость нагрева–охлаждения образцов контролировали хромель-алюмелевой термопарой диаметром 0,5 мм. Для испытания на статическое растяжение из стали механическим способом изготавливали образцы тип II в соответствии с ГОСТ 6996-96 (по три образца на каждую скорость охлаждения). Испытания выполняли по ГОСТ 6996-66 при температуре 20 °С.

Полученные результаты и обсуждение. В представленной работе изучалась структура и механические свойства термомеханически упрочненной стали alform 620M. Благодаря проведению термомеханической прокатки в диапазоне температур 900...700 °С с контролируемым охлаждением

в стали alform 620M образуется бейнитная (преимущественно нижний бейнит — 90 %) структура (рис. 1, а) с размером зерна порядка 40 мкм и твердостью $HV 280$.

Показатели ударной вязкости стали alform 620M существенно превышают нормативные значения и составляют $KCV_{-40} = 307$ Дж/см². Поэтому по показателям статической прочности, пластичности и ударной вязкости сталь alform 620M может быть отнесена к перспективным с точки зрения ее использования для вентиляторов нагнетателя оборудования горнообогатительного комплекса.

В свою очередь зависимости, характеризующие изменения показателей прочности и пластичности в имитированном металле ЗТВ стали alform 620M под влиянием ТЦС приведены на рис. 2. Результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что при скорости охлаждения в интервале температур 600...500 °С $w_{6/5} = 3$ °С/с понижаются показатели предела текучести металла ЗТВ по сравнению с исходным состоянием, а именно $\sigma_{0,2}$ от 667 до 553 МПа, с увеличением $w_{6/5}$ до 12 °С/с предел текучести увеличивается до 580 и до 585 МПа при $w_{6/5} = 25$ °С/с. Предел прочности σ_B незначительно снижается до 723 МПа при $w_{6/5} = 3$ °С/с, а затем возрастает до 790 МПа при $w_{6/5} = 25$ °С/с. В то же время пластические свойства имитируемого металла ЗТВ по сравнению с исходным состоянием меняются несущественно (изменения не превосходят 5...10 %).

При испытаниях на ударный изгиб образцов с острым V-образным надрезом установлено,

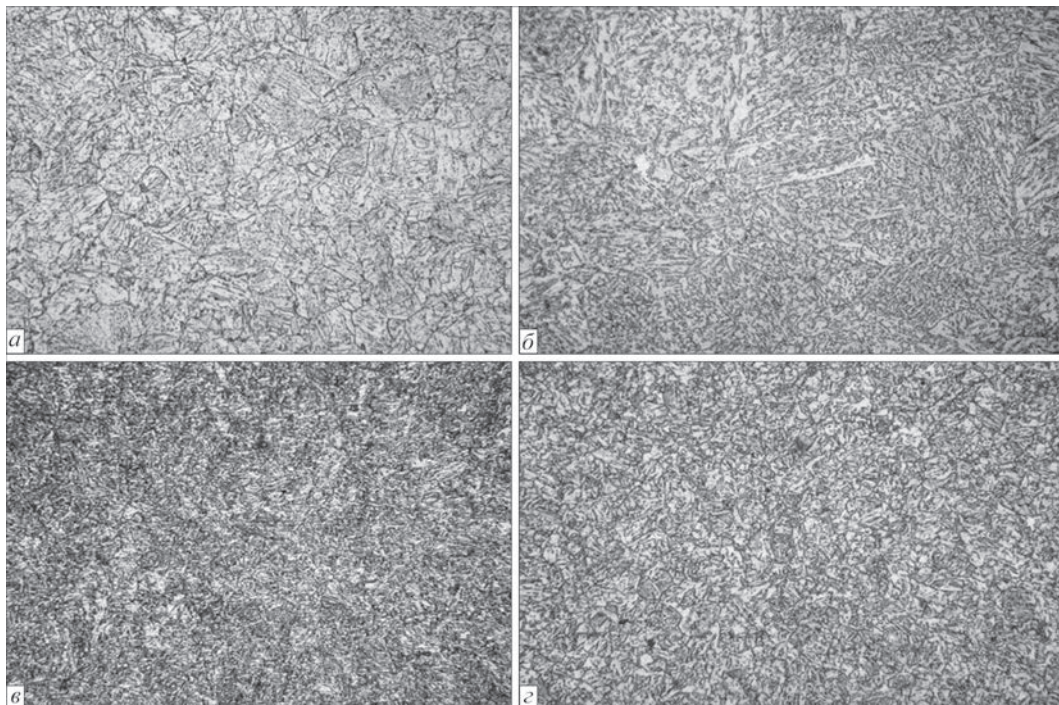


Рис. 1. Микроструктура (×500) стали alform 620M в зависимости от скорости охлаждения $w_{6/5}$: а — основной металл; б — 3; в — 12; г — 25 °С/с

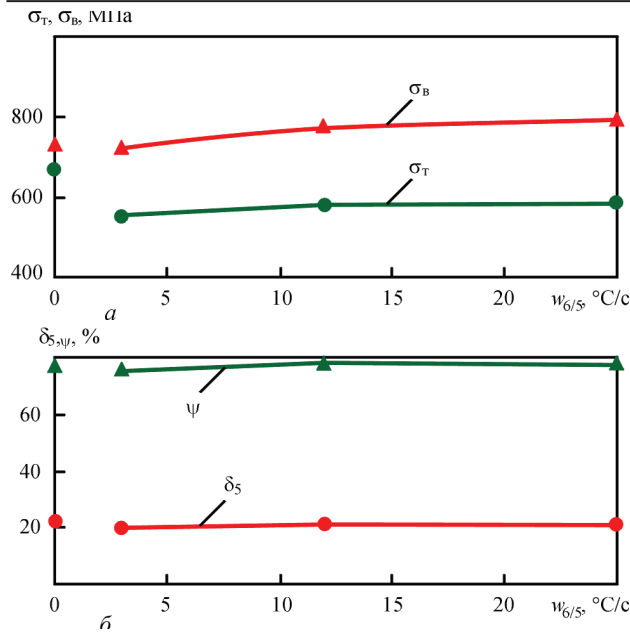


Рис. 2. Механические свойства стали alform 620M в зависимости от скорости охлаждения $w_{6/5}$

что ударная вязкость металла ЗТВ стали alform 620M уменьшается по отношению к основному металлу (рис. 3). Наиболее существенное снижение значений KCV наблюдается в образцах, которые остывали со скоростью $w_{6/5} = 3$ °C/c (от 341 до 21,2 Дж/см² при температуре испытаний 20 °C, от 329 до 19,5 Дж/см² при температуре -20 °C и от 307 до 14,3 Дж/см² при температуре -40 °C). С ростом скорости охлаждения до 12 °C/c они несколько повышаются для показателей ударной вязкости при отрицательных температурах и существенно повышаются для испытаний при комнатной температуре: $KCV_{20} = 332$ Дж/см², $KCV_{-20} = 62$ Дж/см² и $KCV_{-40} = 27$ Дж/см². С ростом скорости охлаждения до 25 °C/c они повышаются до значений: $KCV_{20} = 340$ Дж/см², $KCV_{-20} = 312$ Дж/см² и $KCV_{-40} = 94$ Дж/см².

Такие изменения механических свойств металла ЗТВ стали alform 620M обусловлены различными структурными преобразованиями в диапазоне исследуемых скоростей охлаждения. Об этом свидетельствуют результаты металлографических исследований. Металлографическими исследованиями установлено, что на участке перегрева в металле ЗТВ стали alform 620M при скорости охлаждения $w_{6/5} = 3$ °C/c сформировалась структура, состоящая из различных морфологических форм бейнита нижнего и верхнего с преобладанием последнего (рис. 2, б), средний размер зерна порядка 65 мкм. Твердость такого металла составляет $HV 220$.

При повышении $w_{6/5}$ до 12 °C/c образуется равноосная бейнитная структура с содержанием бейнита нижнего 60 %. Размер зерна уменьшается и соответствует 15...25 мкм, а твердость при этом возрастает до $HV 250$.

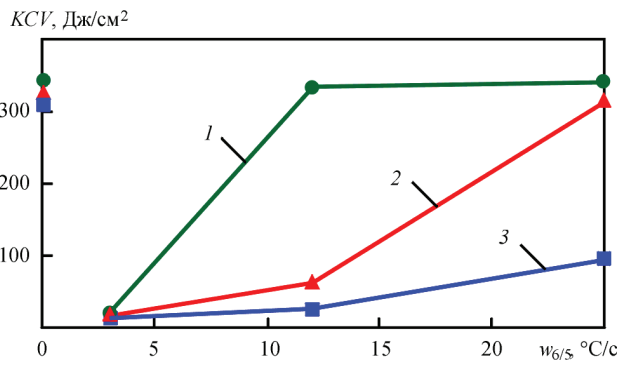


Рис. 3. Ударная вязкость стали alform 620M в зависимости от скорости охлаждения $w_{6/5}$ (1 — 20 °C; 2 — -20; 3 — -40)

При дальнейшем росте скорости охлаждения до $w_{6/5} = 25$ °C/c в имитированном металле ЗТВ формируется структура, состоящая из смеси верхнего (20 %) и нижнего бейнита (80 %). Благодаря этому твердость металла повышается до $HV 270$, что, в свою очередь, приводит к росту показателей его статической прочности и падения пластических свойств.

Анализ фрактографических данных, полученных после испытания образцов на ударный изгиб показал, что с увеличением скорости охлаждения (от $w_{6/5} = 3$ °C/c до $w_{6/5} = 25$ °C/c) при отрицательных температурах испытания ($T_{исп} = -20$ и -40 °C) характер разрушения в зоне магистрального развития трещины изменяется от 100 % хрупкого (рис. 4, а) до смешанного: квазихрупкого 70...75 % и вязкого 25...30 % ($T_{исп} = -20$ °C, рис. 4, б), при этом с увеличением скорости охлаждения размер элементов поверхности разрушения уменьшается в 2 раза от 50 мкм ($w_{6/5} = 3$ °C/c) до 25 мкм ($w_{6/5} = 25$ °C/c). Данное обстоятельство свидетельствует о том, что с точки зрения механических свойств скорость охлаждения $w_{6/5} = 25$ °C/c обеспечивает оптимальное сочетание прочности, пластичности и ударной вязкости, наиболее приближенных к значениям основного металла.

Таким образом установлено, что уменьшение прочности и ударной вязкости металла ЗТВ стали alform 620M при скорости охлаждения $w_{6/5} = 3$ °C/c обусловлено существенным ростом зерна (до 65 мкм) и формированием преимущественно структуры верхнего бейнита. Повышение скорости охлаждения $w_{6/5}$ до 12 °C/c приводит к уменьшению среднего размера зерна до 15...25 мкм, увеличению удельной доли нижнего бейнита до 60 % и, как следствие, к повышению показателей прочности, однако показатели хладостойкости (ударная вязкость при отрицательных температурах) находятся на неудовлетворительном уровне. Последний факт объясняется высоким содержанием бейнита верхнего (40 %) в полученной структуре. Повысить значения хладостойкости удастся, увеличив скорость охлажде-

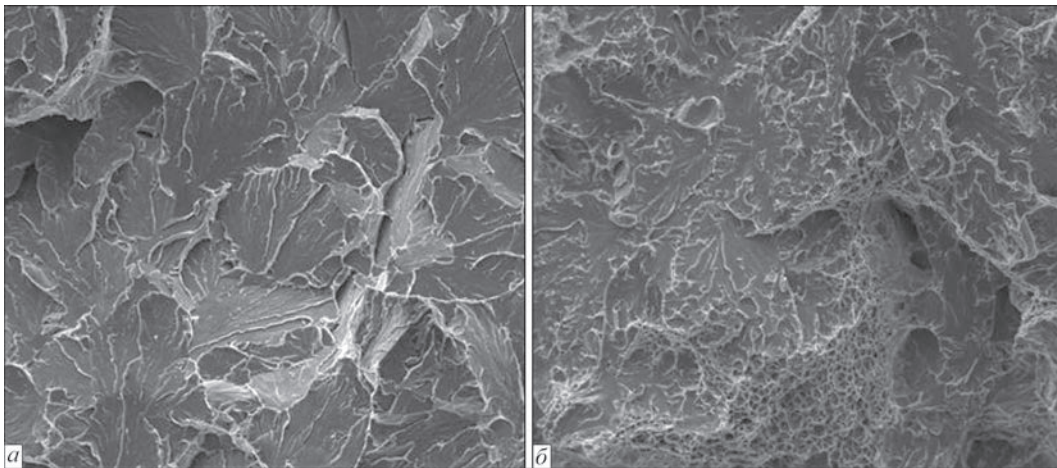


Рис. 4. Фрактограммы поверхности разрушения образцов стали alform plate 620M после испытаний на ударный изгиб ($\times 810$): а — $T_{исп} = -20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $w_{6/5} = 3\text{ }^{\circ}\text{C/c}$; б — $T_{исп} = -20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $w_{6/5} = 25\text{ }^{\circ}\text{C/c}$

ния металла ЗТВ до $w_{6/5} \geq 25\text{ }^{\circ}\text{C/c}$. Это достигается за счет формирования мелкодисперсной структуры (15 мкм), состоящей преимущественно из бейнита нижнего (80 %).

Выводы

Проведенные исследования влияния термических циклов сварки на структуру и свойства стали alform 620M показали следующее:

- при скорости охлаждения имитируемого металла ЗТВ $w_{6/5} = 3\text{ }^{\circ}\text{C/c}$ (характерной для процессов сварки под флюсом), наблюдается существенное понижение предела текучести до 554 МПа и ударной вязкости до значений, не удовлетворяющих требованиям стандартов Евронорм (менее 34 Дж/см²), что обусловлено существенным ростом размеров зерен структуры, полученной при таких условиях охлаждения;

- увеличить значения прочности и ударной вязкости позволяет повышение скорости охлаждения имитируемого металла ЗТВ $w_{6/5}$ до 25 °C/c. При этом в металле ЗТВ формируется мелкодисперсная структура с размером зерен порядка 15...25 мкм, а поверхность излома образцов, испытанных на ударный изгиб, имеет смешанную структуру хрупко-вязкого излома.

Таким образом установлено, что оптимальные сочетания механических свойств и структуры можно достичь при скорости охлаждения металла ЗТВ сварных соединений $w_{6/5} \geq 25\text{ }^{\circ}\text{C/c}$.

Список литературы/References

1. Мусияченко В. Ф., Миходуй Л. И. (1987) *Дуговая сварка высокопрочных легированных сталей*. Москва, Машиностроение.

Musiyachenko, V.F., Mikhoduj, L.I. (1987) *Arc welding of high-strength alloyed steels*. Moscow, Mashinostroenie [in Russian].

2. Гаврилов Д. С., Махненко О. В. (2016) Прогнозирование сварочных деформаций рабочего колеса радиального нагнетателя HP-7500 при дуговой и лазерной технологии сварки. *Сб. тр. Седьмой межд. конф. «Лазерные технологии в сварке и обработке материалов», 14–18 сентября 2015 г., Одесса*, сс. 14–20.
- Gavrilov, D.S., Makhnenko, O.V. (2016) Prediction of welding strains of rotor wheel of blower HP-7500 in arc and laser technologies of welding. *In: Proc. of 7th Int. Conf. on Laser Technologies in Welding and Materials Processing (14-18 Sept. 2015, Odessa, Ukraine)*, pp. 14-20 [in Russian].
3. Ragu Nathan S., Balasubramanian V., Malarvizhi S., Rao A. G. (2015) Effect of welding processes on mechanical and microstructural characteristics of high strength low alloy naval grade steel joints. *Defence Technology*, **11**, 308–317.
4. Ufuah E., Ikhayere J. (2013) Elevated Temperature Mechanical Properties of Butt-Welded Connections Made with High Strength Steel Grades S355 and S460M. *International conf. proceedings «Design, Fabrication and Economy of Metal Structures»*, Miskolc, Hungary, 24–26 Apr. 2013. Jarmai K., Farkas J. (eds.), Springer, pp. 407–412.
5. Nazarov A., Yakushev E., Shabalov I. et al. (2014) Comparison of weldability of high-strength pipe steels microalloyed with niobium, niobium and vanadium. *Metallurgist*, **7**, 9-10, 911–917.
6. Zhixiong Zhu, Jian Han, Huijun Li, Cheng Lu (2016) High temperature processed high NbX80 steel with excellent heat-affected zone toughness, *Materials Letters*, **163**, 171–174.
7. Dongsheng Liu, Qingliang Li, Toshihiko Emi (2011) Microstructure and Mechanical Properties in Hot-Rolled Extra High-Yield-Strength Steel Plates for Offshore Structure and Shipbuilding. *Metallurgical and materials transactions A*, **42**, 1349–1361.
8. Melanie Natschläger, Rupert Egger and Stefan Anton Kapl (2015) Thermomechanically Rolled Heavy Plates for Penstocks. *Hydropower*, **1**, 114–118.
9. (2011) *Technical terms of delivery for heavy plates*. High-strength and ultra-highstrength thermomechanically rolled fine-grain steels. Voestalpine Grobblech GmbH, Austria.
10. Zavidoveev A., Pozniakov V., Rogante M. et al. (2017) Weldability of S460M high strength low-alloyed steel. *Proc. 7th Int. Conf. «Mechanical Technologies and Structural Materials» MTMS2017, Split, Croatia, 21–22 Sept. 2017*. Jozic S., Lela B. (eds.), Croatian Society for Mechanical Technologies, Split, Croatia, pp. 163–166.

ВПЛИВ ТЕРМІЧНОГО ЦИКЛУ ЗВАРЮВАННЯ НА СТРУКТУРУ
ТА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ МЕТАЛУ ЗТВ ВИСКОМІЦНОЇ СТАЛІ
КОНТРОЛЬОВАНОГО ПРОКАТУВАННЯ

В. Д. ПОЗНЯКОВ, А. В. ЗАВДОВЄЄВ, С. Л. ЖДАНОВ, А. В. МАКСИМЕНКО

ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

На даний час намітилися тенденції до розробки високоміцних легуваних сталей з межою текучості більш 590 МПа, в яких термічна обробка (гартування та відпуск) замінюється на процес контрольованого прокатування з подальшим прискореним охолодженням. Сьогодні застосування технологій зварювання таких сталей засноване лише на рекомендаціях виробника металу та зварювальних матеріалів, а також еквіваленті вуглецю. З огляду на те, що нове покоління сталей, в тому числі і alform 620M отримані завдяки комплексному використанню як мікролегування, так і термомеханічної обробки з подальшим прискореним охолодженням, отримані властивості можуть бути втрачені внаслідок зміцнення при переділах, пов'язаних з нагріванням сталі. Оскільки рівень зміни механічних властивостей металу ЗТВ визначає зварюваність сталі, на першому етапі досліджень розглядається вплив термічних циклів зварювання на властивості та структуру металу ЗТВ високоміцної сталі alform 620M. В результаті проведених досліджень встановлено, що оптимальні поєднання механічних властивостей і структури можна досягти при швидкості охолодження металу ЗТВ зварних з'єднань більш 25 °C/с. Бібліогр. 10, табл. 2, рис. 4.

Ключові слова: високоміцна сталь, контрольоване прокатування, термічні цикли зварювання, зона термічного впливу, структура, властивості

INFLUENCE OF THERMAL CYCLE OF WELDING ON STRUCTURE
AND MECHANICAL PROPERTIES OF HAZ METAL IN HIGH-STRENGTH
STEEL PRODUCED BY CONTROLLED ROLLING

V.D. POZNYAKOV, A.V. ZAVDOVEEV, S.L. ZDANOV, A.V. MAKSYMENKO

E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine, 11 Kazimir Malevich Str., 03680, Kyiv.

E-mail: office@paton.kiev.ua

At present there is a tendency to develop high-strength alloyed steel with yield strength more than 590 MPa, in which heat treatment (quenching and tempering) is replaced by the process of controlled rolling with subsequent accelerated cooling. Application of technologies of welding such steels is now based only on recommendations of the manufacturer of metal and welding consumables, as well as carbon equivalent. Considering that the new generation of steels, including alform 620M was produced due to complex application of both microalloying, and thermomechanical treatment with subsequent accelerated cooling, the obtained properties can be lost as a result of softening during processing stages, related to steel heating. As the level of the change of mechanical properties of HAZ metal determines steel weldability, the influence of thermal cycles of welding on the properties and structure of HAZ metal in high-strength steel alform 620M is considered at the first stage of investigations. Performed investigations revealed that optimum combinations of mechanical properties and structure can be achieved at the rate of cooling of metal of welded joint HAZ more than 25 °C/s. 10 Ref., 2 Tabl., 4 Fig.

Keywords: high-strength steel, controlled rolling, thermal cycles of welding, heat-affected zone, structure, properties

Поступила в редакцію 19.07.2018

**11-й Международный симпозиум
«ПОРОШКОВАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ: инженерия поверхности,
новые порошковые композиционные материалы, сварка»**

10–12 апреля 2019 г.

Минск, Беларусь

Организаторы:

Национальная академия наук Беларуси
Государственное научно-производственное объединение порошковой металлургии
Институт порошковой металлургии им. академика О. В. Романа
Государственный комитет по науке и технологиям Республики Беларусь
European Powder Metallurgy Association

Тематика симпозиума:

- Секция 1 «Порошковая металлургия: материалы, технологии, оборудование»
- Секция 2 «Новые композиционные материалы: проблемы получения и применение»
- Секция 3 «Инженерия поверхности»
- Секция 4 «Функциональные защитные покрытия: материалы, технологии, оборудование»
- Секция 5 «Передовые сварочные технологии, материалы и оборудование. Совершенствование нормативной базы»
- Секция 6 «Нanomатериалы и нанотехнологии»

Контакты: 220005, Беларусь, г. Минск, ул. Платонова, 41, Институт порошковой металлургии.