

2. Tosiho I. Development of Sumitomo High Toughness (SHT) Process for Low Temperature Service Steel / I.Tosiho // Trans. Iron and Steel Inst. Jap. – 1980. – №8. – P.561-569.
3. Высокопрочные стальные штрипсы для магистральных труб, получаемых при помощи ТМ – обработки / Штрейсельбергер А., Бауэр Дж., Шульц В., Швинн В.; пер. с нем. // Metallургическое производство и технология металлургических процессов (МРТ). – М.: Металлургия. – 1990. – С.46-59
4. Rashid M. Dual-phase Steels / M.Rashid // Annual Rev. Mater. Science. – 1981. – P.245-266.

УДК 612.791

СУХОМЛИН В.И., к.т.н., доцент
НОСОВ Д.Г., доцент
ПЕРЕМИТЬКО В.В., к.т.н., доцент
РЕЙДЕРМАН Ю.И., к.т.н., доцент
ЛАУХИН Д.И.*, к.т.н., доцент

Днепродзержинский государственный технический университет
*Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОПРОЧНОЙ СТАЛИ 10Г2ФБ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СВАРНЫХ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ И МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ (ЧАСТЬ II)

Введение. Мировой опыт производства и потребления качественных конструкционных сталей подтверждает экономическую эффективность повышения уровня прочности металла, используемого в сварных металлических конструкциях [1].

Высокопрочный толстолистовой прокат находит применение в строительстве (металлические колонны, подкрановые балки, ригели), резервуаростроении (днища, стенки резервуаров), магистральных нефте- и газопроводах, мостостроении (большепролетные балочные мосты) и др. Существует проблема снижения металлоемкости и создания надежных строительных конструкций с использованием сталей более высокопрочных, чем применяемые ныне. Ее решение является актуальной научно-технической задачей.

Постановка задачи. Применение высокопрочного проката в машиностроении и строительстве показало его высокую экономическую эффективность при изготовлении, реализации и эксплуатации сварных металлоконструкций. В настоящее время интерес представляет производство проката из высокопрочных экономнолегированных сталей, для которых необходимо применение новых технологий термомеханической обработки (ТМО). Установлено, что производство высокопрочных конструкционных сталей не всегда приводит к удорожанию металлопроката, так как при использовании эффективных технологий ТМО уровень легирования высокопрочных сталей даже ниже, чем у традиционно используемых сталей. Задачей исследований является определение условий ТМО, обеспечивающих более высокий уровень прочности в листовом металле из стали 10Г2ФБ, и возможности ее использования в сварных металлических конструкциях, в том числе и строительных.

Ранее нами были установлены закономерности изменения структур низкоуглеродистой низколегированной высокопрочной стали 10Г2ФБ и ее сварных соеди-

нений после различных видов ТМО. Анализ полученных результатов позволил оптимизировать процесс выбора образцов для дополнительных исследований механических свойств стали и определить условия, при которых применение высокопрочной стали 10Г2ФБ при производстве сварных строительных металлоконструкций будет целесообразным.

Результаты работы. Карточки из стали 10Г2ФБ размером 200×300×18,7 мм нагревали до температуры 960°C, затем выдерживали при заданной температуре из расчета 2 мин на 1 мм толщины образца и закаливали в воду или охлаждали в масле. После закалки или ускоренного охлаждения карточки отпускали при температуре 600°C в течение 1 часа. Механические свойства стали 10Г2ФБ после упрочняющей термической обработки приведены в табл.1.

Таблица 1 – Результаты испытаний цилиндрических образцов (тип Ш) основного металла на растяжение

Режим обработки	Предел текучести σ_T , МПа	Предел прочности σ_B , МПа	Относительное сужение ϕ , %	Относительное удлинение δ , %
Контролируемая прокатка, сталь X80	535	625	64	29
Ускоренное охлаждение в масло от $T=960^\circ\text{C}$, отпуск 600°C , $\tau = 1$ час	560	655	67	22
Закалка в воду от $T=960^\circ\text{C}$, отпуск 600°C , $\tau = 1$ час	648	716	66	20

Из табл.1 видно, что минимальный уровень прочности имеет металл после контролируемой прокатки, а наилучшие прочностные свойства исследуемая сталь имеет после закалки в воду и отпуск 600°C. Однако, при этом металл после контролируемой прокатки имеет максимальный уровень относительного удлинения.

Для испытаний на ударный изгиб KCV стали 10Г2ФБ выполняли сварку встык двух карточек на режимах, обеспечивающих полный провар и качественное формирование наплавленного валика. Стандартные образцы изготавливали из металла зоны термического влияния (ЗТВ), зоны сплавления и основного металла.

Максимальные значения ударной вязкости при положительных температурах (+20°C) имеет основной металл после контролируемой прокатки, а минимальные – после закалки в воду от температуры 960°C и отпуска при 600°C в течение 1 часа. При этом значения ударной вязкости при пониженных температурах (минус 40°C) для стали 10Г2ФБ после контролируемой прокатки оказались более низкими по сравнению с упрочняющими обработками.

Значение ударной вязкости исследуемой стали после различных обработок и в разных зонах сварного шва приведены в табл.2.

Таблица 2 – Результаты испытаний на ударный изгиб стали 10Г2ФБ после различных обработок

Режим обработки	Ударная вязкость КСV ₊₂₀ , Дж/см ²			Ударная вязкость КСV ₋₄₀ , Дж/см ²
	Основной металл	Центр шва	Зона термического влияния	Основной металл
Контролируемая прокатка, сталь Х80	308	187	208	130
Ускоренное охлаждение в масло от Т=960°С, отпуск 600°С τ = 1 час	314	94	98	150
Закалка в воду от Т=960°С, отпуск 600°С τ = 1 час	247	107	158	170

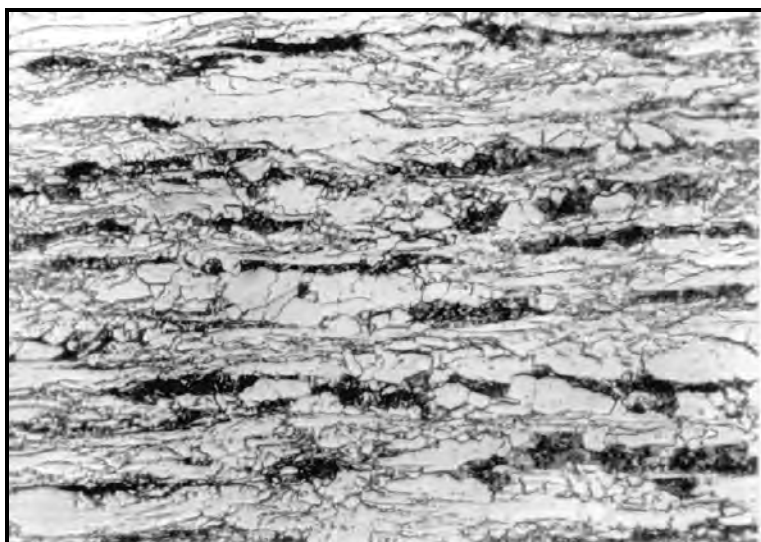
Микроструктурные исследования основного металла стали 10Г2ФБ после контролируемой прокатки и после упрочняющих обработок (рис.1) показали, что металл после контролируемой прокатки имеет феррито-перлитную структуру с развитой полосчатостью, характерной для данного вида обработки (рис.1, а). После ускоренного охлаждения в масло и отпуска при 600°С полностью устраняется полосчатость, измельчается ферритное зерно до 11 балла и происходит распад продуктов промежуточного превращения (рис.1, б). Устранение полосчатости характерно также и для металла, закаленного в воду и отпущенного при 600°С, при этом образуется структура отпущенного мартенсита (рис.1, в).

В связи с тем, что высокопрочный металл при изготовлении конструкций ответственного назначения подвергается сварке, практический интерес представляет исследование уровня разупрочнения металла в зоне сварного соединения. С этой целью карты размером 200×300×18,7, обработанные по режимам (табл.1), сваривали после разделки кромок автоматическим способом сварки проволокой Св-08ГА (Ø 3 мм) под слоем флюса АН-348А. Из полученных сварных соединений вырезали в соответствии с ГОСТ 6996-66 образцы для испытания на растяжение (рис.2) и на холодный загиб, угол загиба 110° (рис.3). Механические свойства сварных соединений приведены в табл.3.

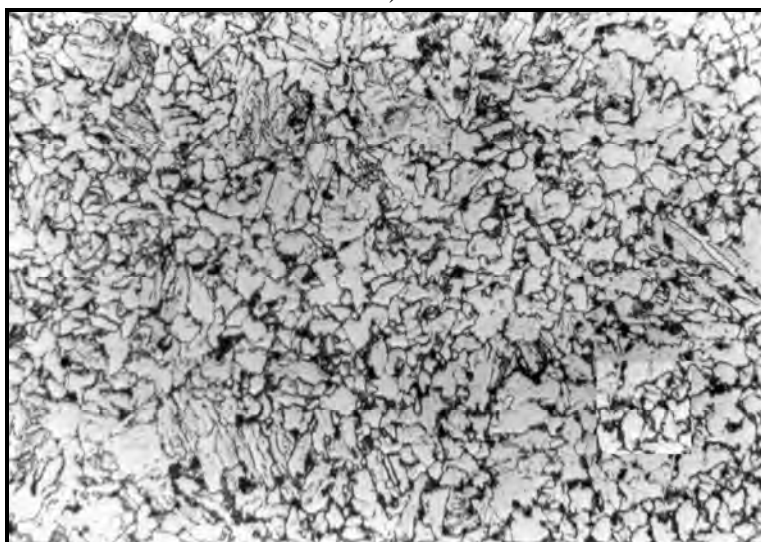
Исследования показали (рис.2), что разрушение плоских сварных образцов происходило по сварному шву практически при одинаковых нагрузках, при этом все исследуемые образцы выдержали испытания на холодный загиб (рис.3).

Проведенные исследования с применением присадочного материала (сварочной проволоки Св-08ГА), не соответствующего по уровню прочности основному металлу, не дали окончательного ответа на вопрос о степени разупрочнения высокопрочного металла в зоне термического влияния.

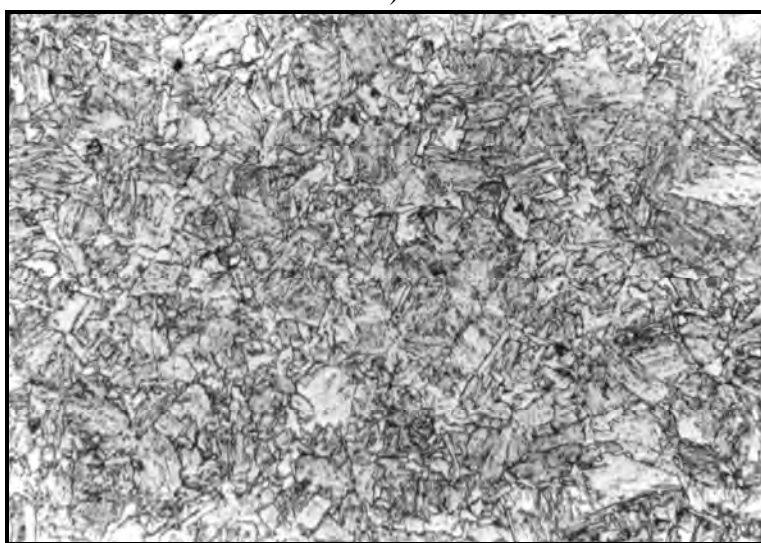
Были проведены эксперименты по сварке (полуавтоматом в среде защитного газа) стали 10Г2ФБ сварочной проволокой повышенной прочности 07ХН2ГСМФТЮ (Ø1,2 мм). Результаты механических испытаний натуральных сварных образцов приведены в табл.4. Полученные данные показали, что максимальной прочностью обладают сварные соединения из металла, подвергнутого закалке в воду с отпуском 600°С. Разрушение сварных образцов происходило по основному металлу на удалении от зоны сплавления не менее 22 мм, т.е. разрушение произошло по основному металлу, при этом все образцы выдержали испытание на холодный загиб. Установлено, что степень разупрочнения стали 10Г2ФБ, обработанной на различные уровни прочности (табл.4), остается на уровне нормативных требований.



а)

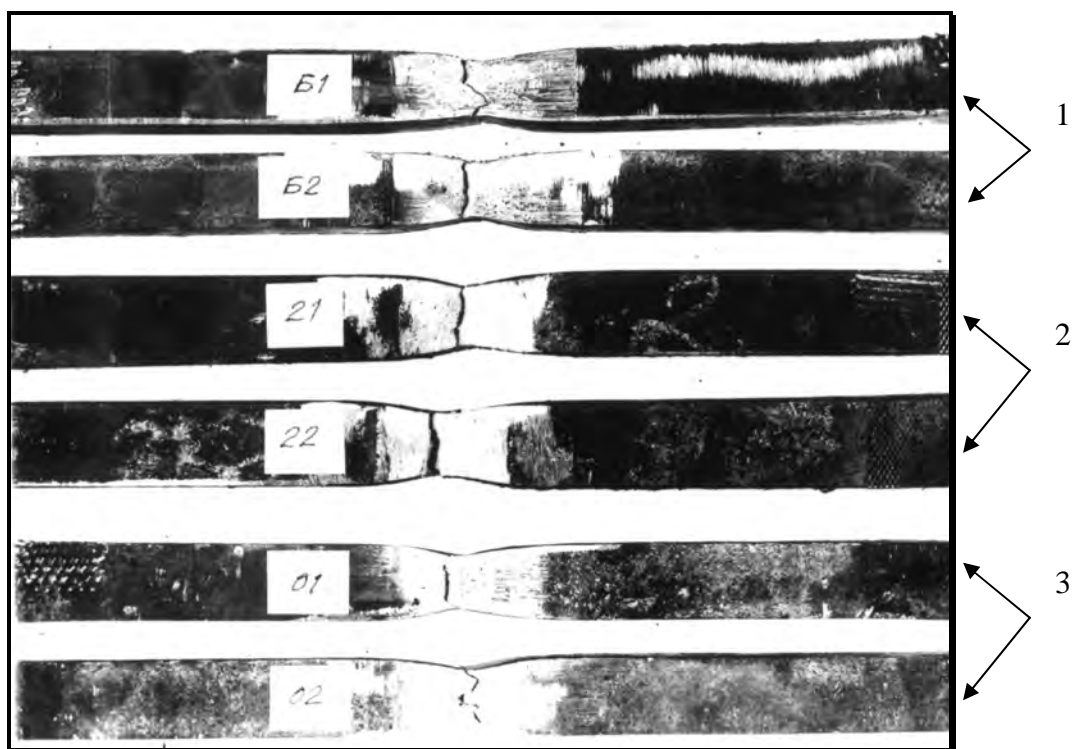


б)

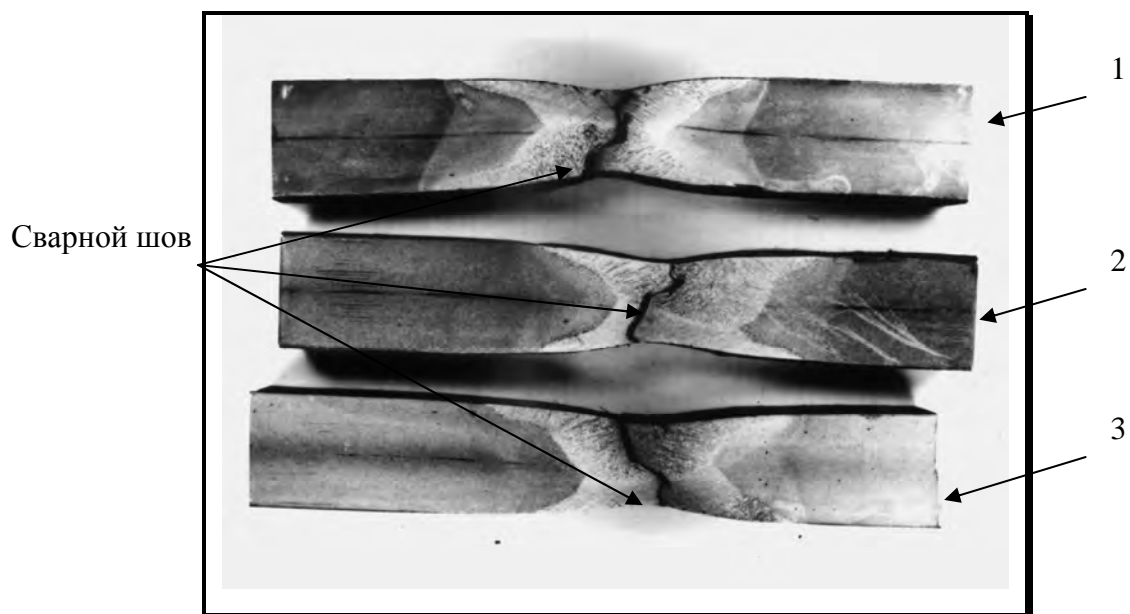


в)

Рисунок 1 – Микроструктура стали 10Г2ФБ после: а) контролируемой прокатки; б) ускоренного охлаждения в масло от $T=960^{\circ}\text{C}$ и отпуска 600°C , 1 час; в) закалки в воду от $T=960^{\circ}\text{C}$ и отпуск 600°C , 1 час; $\times 500$



а)



б)

а – вид сбоку, масштаб 1:2; б – вид сверху, масштаб 1:1

Рисунок 2 – Общий вид образцов из стали 10Г2ФБ, сваренных проволокой Св-08ГА (испытания на растяжение) после: 1) контролируемой прокатки; 2) ускоренного охлаждения в масле от температуры 960°C и отпуска 600°C, 1 час; 3) закалки в воду от температуры 960°C и отпуска 600°C, 1 час

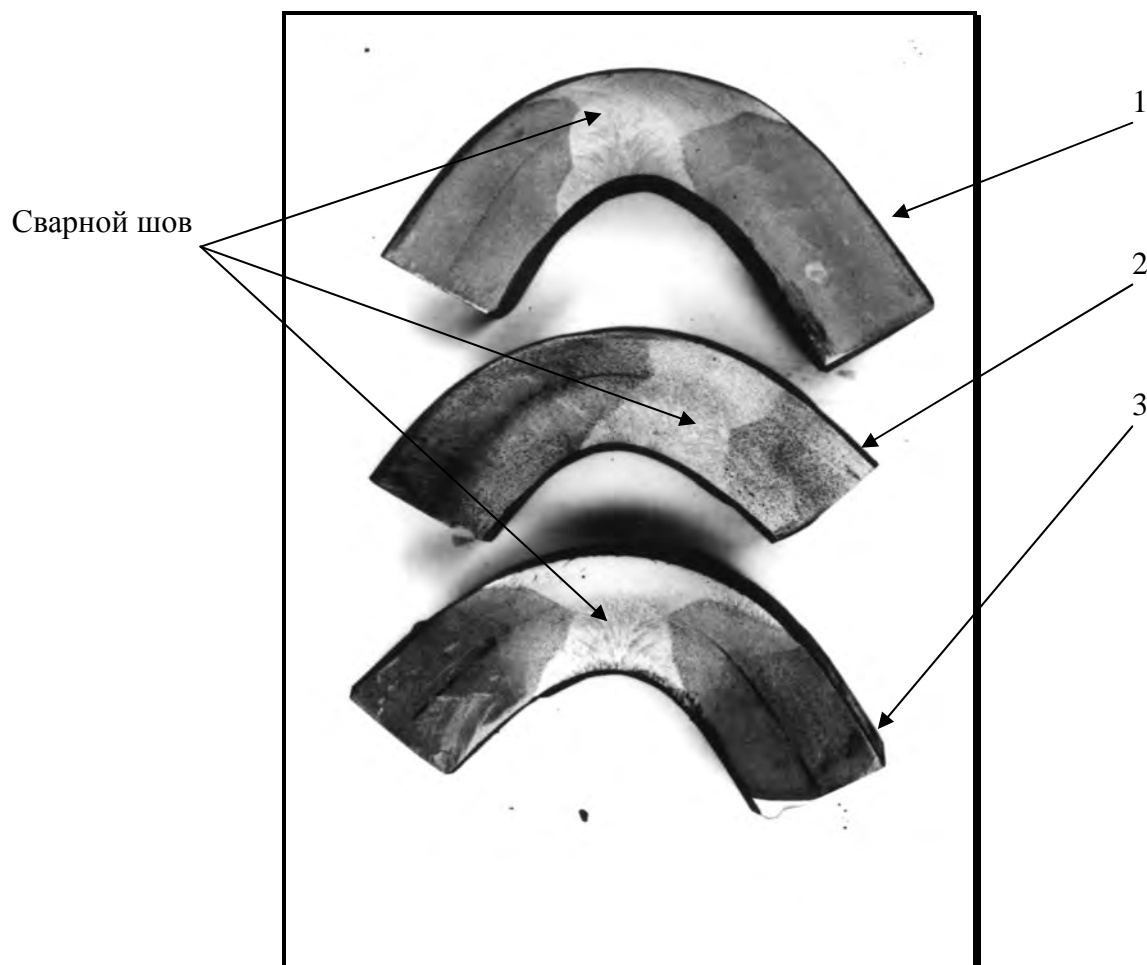


Рисунок 3 – Общий вид образцов из стали 10Г2ФБ, сваренных проволокой Св-08ГА (испытания на холодный загиб) после: 1) контролируемой прокатки; 2) ускоренного охлаждения в масло от температуры 960°С и отпуска 600°С, 1 час; 3) заковки в воду от температуры 960°С и отпуска 600°С, 1 час

Таблица 3 – Результаты испытаний натуральных плоских сварных образцов тип II за ГОСТ 6996-66

Режим обработки	Предел прочности σ_B , МПа	Примечание
Контролируемая прокатка, сталь X80	620	разрыв по шву
Ускоренное охлаждение в масло от $T=960^{\circ}\text{C}$, отпуск 600°C , 1 час	625	разрыв по шву
Заковка в воду от $T=960^{\circ}\text{C}$, отпуск 600°C , 1 час	620	разрыв по шву

Таблица 4 – Механические свойства сварных соединений после полуавтоматической сварки проволокой из стали 07ХН2ГСМФТЮ

Режим обработки	Предел текучести σ_T , МПа	Предел прочности σ_B , МПа	Относительное удлинение δ , %	Примечание
Контролируемая прокатка, сталь Х80	571	668	22	разрыв по основному материалу
Ускоренное охлаждение в масло от $T=960^\circ\text{C}$, отпуск 600°C , 1 час	567	670	20	разрыв по основному материалу
Закалка в воду от $T=960^\circ\text{C}$, отпуск 600°C , 1 час	587	745	19	разрыв по основному материалу

Кроме того, при исследовании прочностных свойств металла в зоне сварки и в зоне термического влияния было произведено испытание на твердость.

На рис.4 представлены кривые изменения твердости металла от центра шва к основному металлу.

В условиях контролируемой прокатки (рис.4, а) твердость сварного шва в сравнении с твердостью основного металла выше в среднем на 30 единиц; имеют место «провалы твердости» в переходах шов – зона термического влияния – основной металл, что и ограничивало применение стали 10Г2ФБ при производстве сварных конструкций.

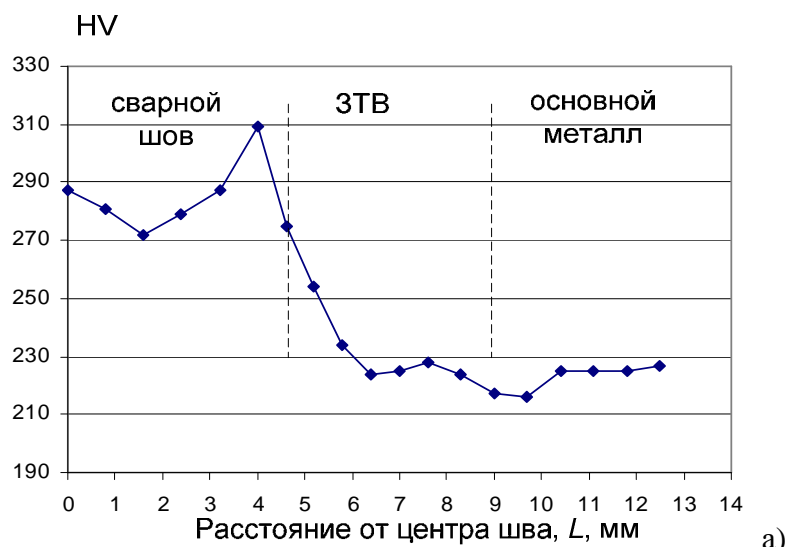
При ТМО, выполненных на следующих режимах: нагрев, ускоренное охлаждение в масло от температуры 960°C и отпуск 600°C в течении 1 часа твердость сварного шва более стабильна (рис.4, б), однако, имеют место «провалы твердости» в ЗТВ (разупрочнение). В сравнении с твердостью основного металла твердость металла ЗТВ при этом виде ТМО ниже до 20 единиц.

Наилучшие результаты обеспечивает комплексная ТМО, выполненная на следующих режимах: нагрев, закалка в воду от температуры 960°C и отпуск 600°C в течении 1 часа. Твердость металла в переходах шов – зона термического влияния – основной металл стабилен (рис.4, в), «провалы твердости» минимальны, кроме того, несколько повышается твердость основного металла.

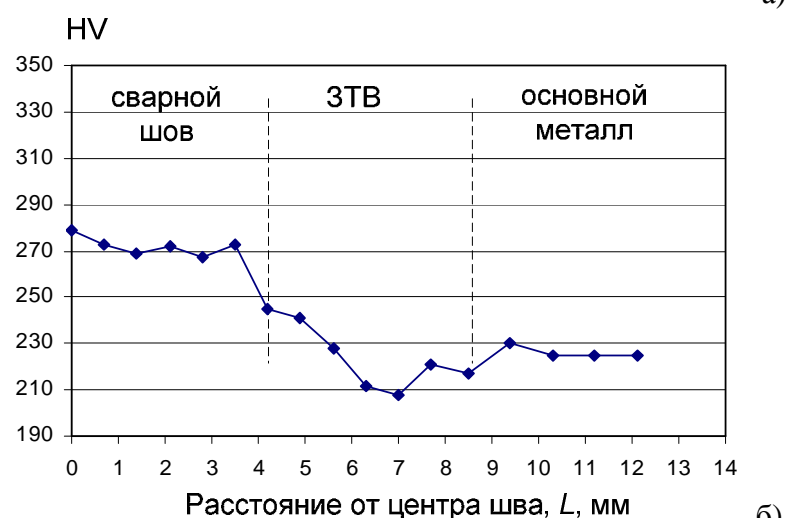
Анализ структуры основного металла, металла ЗТВ и сварного шва показал, что в области шва образуются две зоны: сплавления и термического влияния. В оплавленном металле после кристаллизации при понижении температуры формируется сравнительно однородная структура, характер которой определяется химическим составом присадочной проволоки и скоростью охлаждения. В зоне термического влияния формируется набор структур, составляющие которых образуются в условиях непрерывно изменяющихся температуры, времени нагрева, скорости охлаждения, различий в структуре исходного металла. Детальное исследование и анализ структур указанных зон планируется нами реализовать в дальнейшем.

Выводы. Результаты механических испытаний опытных образцов подтвердили, что достигнута основная цель – ударная вязкость вдоль и поперек прокатки толстого листа практически одинакова, а незначительное снижение предела текучести не выходит за рамки допустимого.

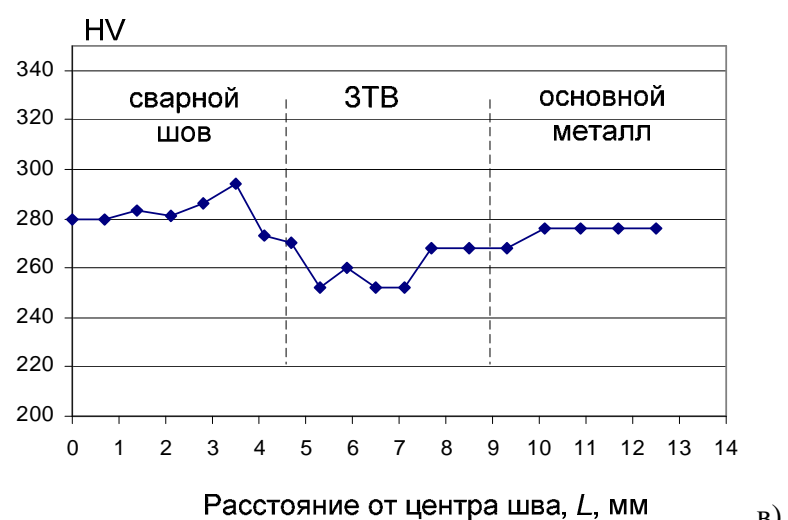
Фактографические исследования поверхности разрушения показали, что величина распространения усталостных трещин при транскристаллитном разрушении не



а)



б)



в)

а) контролируемая прокатка; б) ускоренное охлаждение в масло от температуры 960°C и отпуск 600°C, 1 час; в) закалка в воду от температуры 960°C и отпуск 600°C, 1 час

Рисунок 4 – Микротвердость зоны сварного шва, зоны термического влияния и основного металла (механизированная сварка проволокой Св-07ХН2ГСМФТЮ)

превышает диаметра ферритного зерна, а при интеркристаллитном – ограничивается величиной поверхностного раздела ферритного зерна и перлитной колонии.

Таким образом, поведение металла при механических испытаниях идентично результатам испытаний для стали 09Г2С, что позволяет использовать трубную сталь 10Г2ФБ в строительных конструкциях вместо стали 09Г2С.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ниобийсодержащие низколегированные стали / [Хайстеркамп Ф., Хулка К., Матросов Ю.И. и др.]. – М.: “СП ИНТЕРМЕТ ИНЖИНИРИНГ”, 1999. – 94с.

УДК 621.791.048-52

СТАХОВ С.В., магістр

Дніпродзержинський державний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ НАПЛАВЛЕНОГО МЕТАЛУ ПРИ АВТОМАТИЧНОМУ ЗВАРЮВАННІ НИЗЬКОЛЕГОВАНОЇ СТАЛІ ПІД АГЛОМЕРОВАНИМ ФЛЮСОМ

Вступ. Вступ України до ВТО, зростаюча конкуренція на ринку металу і наслідки економічної кризи обумовлюють необхідність подальших досліджень з розробок та використання нових матеріалів і технологій, постійне збільшення обсягів і впровадження високоміцних низколегованих (ВМНЛ) сталей ($\sigma_{\text{в}} \geq 620$ МПа) з мінімальними економічними витратами в різних галузях виробництва, що являється актуальною задачею.

Серед заходів, направлених на покращення якості готової продукції, значна увага приділяється використанню ВМНЛ сталей для виготовлення труб різного призначення, фасонного і листового прокату, арматурної сталі, цільнокатаних коліс та інше. Головна складова економічної ефективності застосування металу підвищеної і високої міцності – економія металу. Значні результати для отримання такого металу, окрім мікролегкування сталі, дає карбонітридне зміцнення, термічна обробка прокату і інші способи, які дозволяють при виготовленні металоконструкцій заощадити 8-20% металу.

Використання металу підвищеної міцності в різних галузях промисловості забезпечує значну економічну ефективність. До технічних питань, які вимагають подальшого рішення з використання ВМНЛ сталі, відноситься підвищення виплавки низколегованої сталі і розширення асортименту виготовлення агломерованих флюсів в умовах зростаючої конкуренції західних виробників, а до економічних – питання ціноутворення.

Економічна ефективність застосування ВМНЛ сталей і агломерованих флюсів замість плавлених визначається на підставі розрахункових показників: собівартості і питомих капітальних витрат на 1 т прокату різних типорозмірів і марок сталей, витрати прокату на виготовлення конструкцій, трудомісткості їх виготовлення і монтажу, транспортних витрат, пов'язаних з перевезенням прокату і готових виробів.

Постановка задачі. Обґрунтування доцільності використання при автоматичному багатодуговому зварюванні високоміцних низколегованих сталей агломерованих флюсів замість плавлених. Вивчення впливу плавленого АН-60П і агломерованого АНКС-28 флюсів на механічні властивості металу шва і зварного з'єднання з високоміцної низколегованої сталі 17Г1С-У.