

УДК 621.771.25:621.778:669.15⁷⁴/782–194**В. В. Парусов*, А. Б. Сычков**, С. Ю. Жукова**, А. И. Сивак*****МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКУЮ ПЛАСТИЧНОСТЬ ПРИ ВОЛОЧЕНИИ
КАТАНКИ ИЗ КРЕМНЕМАРГАНЦЕВЫХ СТАЛЕЙ**** Институт черной металлургии НАН Украины**** СЗАО «Молдавский металлургический завод»*

Установлены металлургические факторы, определяющие технологическую пластичность при прямом волочении катанки диаметром 5,5 мм из стали марок Св-08Г1С, Св-08Г2С, SG-2, SG-3 в сварочную проволоку диаметром 1,2...1,0 мм.

В настоящее время существует два технологических процесса производства сварочной проволоки из стали марок Св-08Г2С, Св-08Г1С (ТУ У 14-4-495-2001) и SG-1, -2, -3 (DIN 17145, DIN 8559). Традиционная технология заключается в химическом удалении с поверхности катанки диаметром 5,5...6,5 мм окалины, волочении её в проволоку диаметром 1,6...0,8 (0,6) мм с применением 1...2 операций смягчающей промежуточной термической обработки (темного или светлого рекристаллизационного отжига) и последующего омеднения.

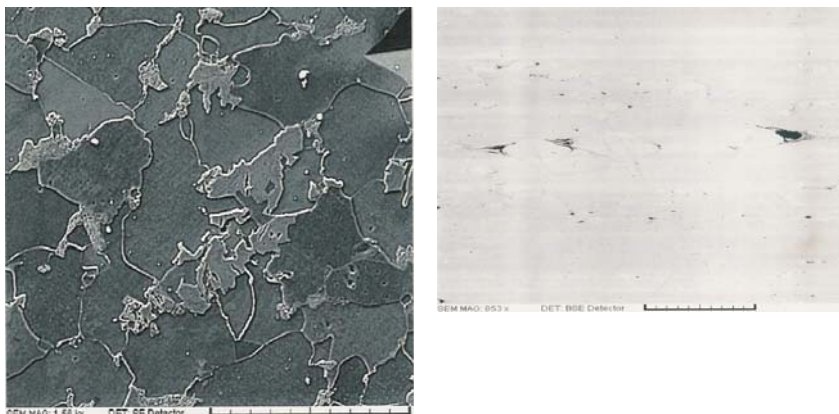
Новая прогрессивная технология предусматривает механическое удаление окалины, сухое волочение катанки на промежуточный диаметр 2,2...1,7 мм, затем без применения промежуточной термообработки – мокрое волочение, совмещенное с электрохимическим омеднением поверхности проволоки диаметром 1,6...0,8 (0,6) мм. Преимущества новой схемы производства сварочной проволоки очевидны – сокращение затрат на травление катанки и термическую обработку проволоки, улучшение экологии производства.

Естественно, что для новой технологической схемы требования к качеству исходной катанки существенно выше. Как известно, низкоуглеродистая кремнемарганцевая сталь сварочного назначения относится к феррито-мартенситному классу. При этом именно наличие бейнито-мартенситных участков ограничивает технологическую пластичность катанки и ее способность к прямому (без смягчающей термической обработки) безобрывному волочению в проволоку диаметром 0,8 (0,6) мм. Наличие однородной феррито-перлитной структуры, не содержащей бейнито-мартенситных участков, является главной особенностью такой катанки.

В условиях СЗАО «ММЗ» производство катанки из легированной стали для сварочной проволоки освоено в 1995г. До 2000г. катанку по-

сле прокатки термообрабатывали на линии "короткий" Stelmor, а после реконструкции в 2000г. хвостовой части проволочного стана – на линии "длинный" Stelmor [1...2].

Так как в 1997г. катанка СЗАО «ММЗ», изготовленная с применением линии "короткий" Stelmor, имела в условиях турецкого отделения фирмы OERLIKON неудовлетворительную технологичность при производстве по современной технологической схеме сварочной проволоки, то было принято решение при дальнейших экспериментах, в том числе и на линии "длинный" Stelmor, микролегировать сталь бромом.



а

б

Рисунок 1 – Микроструктура катанки диаметром 5,5 мм из стали Св-08Г2С, содержащая бейнито-мартенситные участки (а) и трещины в проволоке возле бейнито-мартенситных структур (б)

Для дополнительного обеспечения требуемой технологической пластичности катанки для сварочной проволоки с учетом разработок других авторов [3–7] и собственных исследований [8–10] были скорректированы требования к химическому составу стали типа Св-08Г2С, т.к. при производстве катанки из этой стали наряду с формированием феррито-перлитной структуры, как правило, образуются и бейнито-мартенситные участки, рис.1а. Скорректированные требования к химическому составу стали ($C \leq 0,08\%$; $Mn = 1,60...1,70\%$; $Si = 0,70...0,80\%$; $S \leq 0,020\%$; $P \leq 0,010...0,015\%$; $Cr \leq 0,08\%$; $Ni \leq 0,12\%$; $Cu \leq 0,15\%$) с учетом норм, допускаемых п.п. 3.3 и 3.5 ГОСТ 2246-70, соответствуют указанному стандарту для стали Св-08Г2С. Технологические параметры и качественные характеристики катанки из стали типа Св-08Г2С, охлажденной после прокатки на линиях "короткий" и "длинный" Stelmor, приведены в табл.1.

Таблица 1. Технологические и качественные характеристики катанки из стали типа Св-08Г2С охлажденной на линии Stelmor до и после реконструкции

Показатель качества или технологический параметр	"Короткий" Stelmor	"Длинный" Stelmor
$t_{в/у}, ^\circ\text{C}$	850...860	940...970
$\tau_{\text{тк}}, \text{с}$	max 400	max 1380
$V_{\text{охл}}, ^\circ\text{C/с}$	0,50...0,30	0,20...0,15
$\sigma_{\text{в}}, \text{Н/мм}^2$	550...600	500...550
$\Psi, \%$	60...75	75...80
$\Phi/\Pi, \%$	80...90/20...10	91...98/9...12
номер действительного зерна	10, 11, 12	8, 9, 10
Доля закалочных фаз (мартенсит, бейнит) в структуре, %	15...20	0...12
Степень прямого волочения, $d, \text{мм}/\varepsilon_{\Sigma}, \%$	2,2/84	1,2...1,0/95,2...96,7
Количество окалины, (кг/т) / удаляемость механическим способом, % / остаточное количество окалины, кг/т	≤ 12 / нет сведений / нет сведений	$\leq 6/79...89,5/0,51...0,88$

ПРИМЕЧАНИЕ. $t_{в/у}$ – температура виткообразования; $\tau_{\text{тк}}$ – время термостатирования витков катанки под теплоизолирующими крышками; $V_{\text{охл}}$ – скорость охлаждения витков катанки; Φ – феррит; Π – перлит; d – диаметр проволоки

В катанке из стали с меньшим содержанием марганца (1,3–1,65%), что принято в дальнем зарубежье и СНГ для таких марок как SG-2, SG-3, Св-08Г1С и Св-08ГС, закалочные структуры не наблюдаются, из-за охлаждения катанки на линии Stelmor со скоростью ниже критической. Соответственно этому способность этих сталей к прямому волочению (волочению без промежуточной термической обработки) очень высокая: производство проволоки идет стабильно, без обрывов.

Анализ качественных характеристик катанки, произведенной по оптимальной технологии на линии "длинный" Stelmor, и переработки ее в проволоку диаметром 1,2–1,0 мм показывает следующее.

1. Зависимость среднего значения предела прочности ($\bar{\sigma}_B$) от углеродного эквивалента ($C_{\Sigma} = C + \text{Mn}/5 + \text{Si}/7 + (\text{Cr} + \text{Ni} + \text{Cu})/12$), содер-

жания в стали бора (В) и отношения бора к азоту (В/Н) однозначно показывает снижение его значений при уменьшении С_э, росте содержания В и отношения В/Н, рис.2.

2. Переработка такой катанки по новой прогрессивной технологии в условиях ОАО "Межгосметиз-Мценск" показала, что и при сухом и мокром волочении в проволоку диаметром 1,2–1,0 мм технологичность катанки из стали Св-08Г1С соответствует технологичности итальянской катанки (фирма Ori Martin) из стали марок SG-2, SG-3. Степень упрочнения и комплекс свойств проволоки из стали Св-08Г1С и из стали SG-2, SG-3 практически одинаковые, табл.2.

Таблица 2 – Механические характеристики сварочной проволоки по переходам мокрого волочения

Диаметр проволоки по переходам мокрого волочения, мм	Усилие разрыва, Н	Предел прочности, Н/мм ²	Количество реверсивных гибов, шт
1,84*	2800...2820	1053...1061	15
1,69*	1270...1230 2360...2400	1024...1038 1050...1070	17
1,55*	2000...2020	1060...1071	19
1,43*	1750...1770	1090...1102	22
1,31*	1600 1550...1600	1187 1168...1169	22...25
1,21*	1550	1116	26
1,18**	<u>1330...1340</u> 1320...1330	<u>1216...1226</u> 1207...1216	<u>28</u> 30...31
1,12*	1150...1200 1200...1210	1189...1289 1216...1228	24...25
1,04*	1000...1050 1060...1100	936...1177 1248...1295	30...32

* - Проволока из стали Св-08Г1С

** - В числителе – характеристики проволоки из стали Св-08Г1С, С3АО «ММЗ», в знаменателе – проволоки из стали SG-2, Ori Martin (Италия)

3. Деформируемость проволоки из катанки С3АО «ММЗ» (сталь Св-08Г2С с высоким содержанием 1,80...2,10 % марганца) характеризуется повышенной обрывностью из-за наличия в структуре бейнитомартенситных участков. Микротвердость этих участков достигает 750 НV при микротвердости фоновых участков в пределах 300...450 НV. На рис.1б отчетливо видно, что формирование трещин в проволоке

происходит у структурных участков белого цвета (бейнито-мартенситных участков).

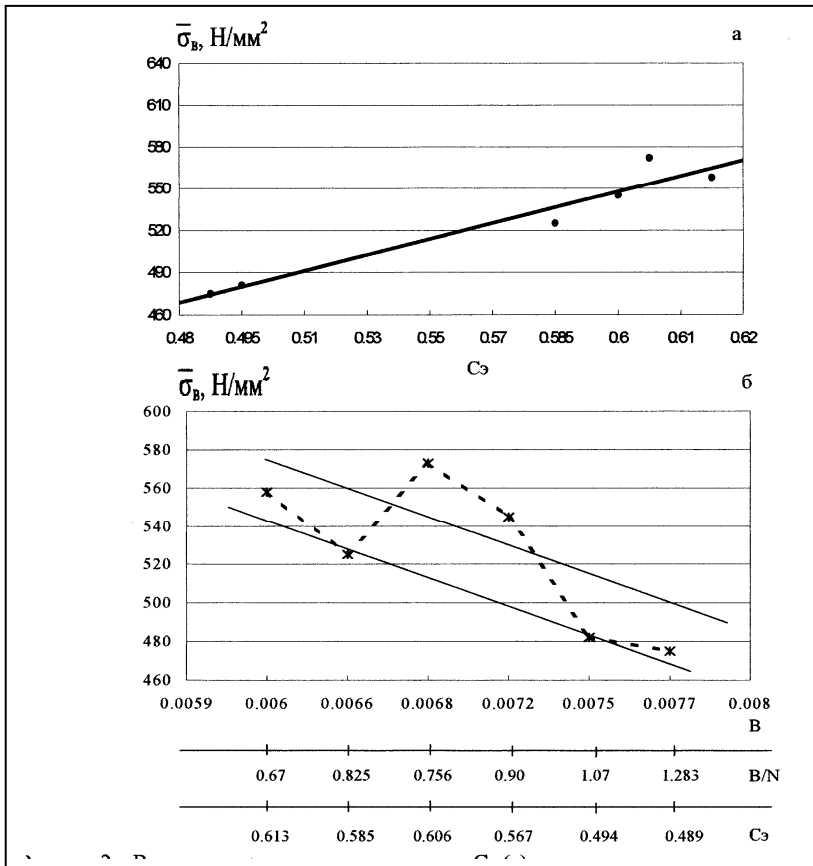


Рисунок 2 – Влияние углеродного эквивалента – C_3 (а) и совместное влияние углеродного эквивалента – C_3 , содержания бора – В и отношения содержания бора к азоту – В/Н (б) на среднее значение предела прочности – $\bar{\sigma}_B$; на рис.б: * - фактические значения $\bar{\sigma}_B$; ---- - линии, ограничивающие усредненную полосу значений $\bar{\sigma}_B$

На рис.3 и 4 представлено распределение бейнито-мартенситных участков и основных упрочняющих элементов (C, Mn, Si) в сталях Св-

08Г2С (СЗАО «ММЗ») и SG-2 (Ori Martin, Италия) по поперечному сечению катанки диаметром 5,5 мм.

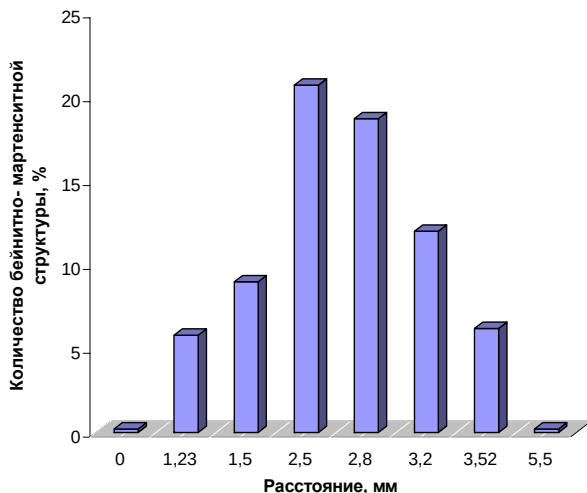


Рис. 3. Распределение бейнито-мартенситных структур по поперечному сечению катанки диаметром 5,5 мм из стали Св-08Г2С.

Исследование проводилось при помощи как оптической, так и растровой электронной микроскопии (Neophot-32, Olympus – мо-

дель IX-70, VEGA TESCAN с рентгеновским и волновым микроанализаторами фирмы Oxford Instruments). Сравнение рис.3 и 4 показывает, что имеется некоторое различие между распределением бейнито-мартенситных структур и распределением углерода, кремния и марганца по поперечному сечению катанки. Так, максимальное количество бейнито-мартенситных участков наблюдается в центральной зоне катанки. По мере приближения к периферийным зонам количество бейнито-мартенситных участков уменьшается и в поверхностной зоне глубиной до 0,5 мм эти структуры практически отсутствуют. Распределение же упрочняющих элементов (C,Mn,Si), обусловленное дендритной и зональной ликвацией, не имеет (за исключением Si) явно выраженного максимума в центральной зоне. Поэтому образование бейнито-мартенситных структур в катанке из стали Св-08Г2С обусловлено, в основном, недостаточно медленным охлаждением ее на линии Stelmor, хотя ликвационные процессы также негативно влияют на деформируемость катанки-проволоки.

С учетом проведенных исследований разработаны следующие мероприятия по повышению технологической пластичности катанки-проволоки из стали Св-08Г2С:

1. На сталеплавильном переделе:

- выплавка вакуумированной стали со следующим содержанием химических элементов, % : углерода – 0,05...0,06; марганца –

1,65...1,70; кремния— 0,70...0,75; фосфора до 0,015; хрома до 0,06; никеля до 0,10; меди до 0,15; серы до 0,010;

- полная защита струи при основной футеровке сталеразливочного и промежуточного ковшей;
- электромагнитное перемешивание стали в кристаллизаторе;
- непрерывная разливка стали со скоростью 2,5...2,8 м/мин при минимальном перегреве;
- замедленное охлаждение заготовок в штабелях.

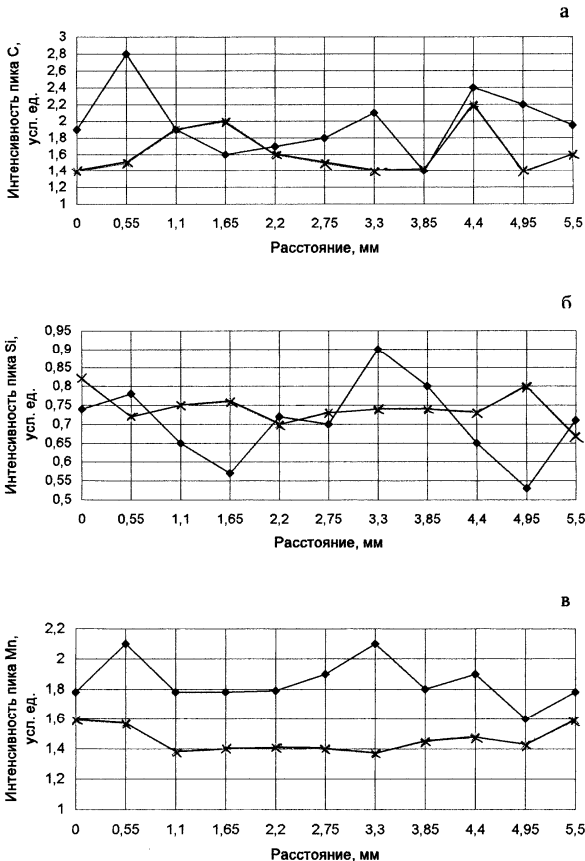


Рис. 4. Распределение углерода (а), кремния (б) и марганца (в) по диаметру катанки из стали марок Св-08Г2С (СЗАО «ММЗ») и SG-2 (Ori Martin, Италия): ♦ - катанка из стали Св-08Г2С; × - катанка из стали SG-2

2. На прокатном переделе:

- моделирование в лабораторных условиях режимов изотермического распада аустенита в образцах катанки из стали Св-08Г2С, обеспечивающих образование феррито-перлитной структуры без бейнитомартенситных участков: температура аустенизации образцов ~ 1000 °

С; температуры изотермических выдержек – 600, 550, 500 ° С; время выдержек – 5, 10, 15, 20 мин;

- оценка возможности промышленной реализации опытных режимов охлаждения ее на линии "длинный" Stelmor;

- при невозможности осуществления в промышленных условиях рекомендуемых режимов охлаждения катанки целесообразно рассмотреть вопрос об установке электрических или газовых нагревателей витков катанки на линии Stelmor.

Выводы.

1. Установлены металлургические факторы, определяющие технологическую пластичность катанки из стали марок Св-08Г2С, Св-08Г1С, SG-2, SG-3 и разработана технология производства такой катанки, обеспечивающая на метизном переделе механическое удаление окалины и волочение с диаметра 5,5 мм до 1,2...1,0 мм без смягчающей термической обработки.

2. При прямом волочении катанки из высокомарганцевистой (Mn = 1,80...2,10 %) стали марки Св-08Г2С выявлена повышенная обрывность проволоки из-за наличия в катанке-проволоке участков бейнитомартенситной структуры.

3. Разработаны мероприятия по обеспечению в катанке из стали типа Св-08Г2С феррито-перлитной структуры, не содержащей бейнито-мартенситных участков.

1. *Термомеханическая* обработка проката из непрерывнолитой заготовки малого сечения / В. В. Парусов, А. К. Белитченко, Н. А. Богданов, А. Б. Сычков, А. М. Нестеренко, О. В. Парусов. – Запорожье. Издательство ЗГУ, 2000. – 142 с.
2. *Модернизация* оборудования и совершенствование технологии для производства качественного проката в условиях Молдавского металлургического завода/ А. Б. Сычков, Н. А. Богданов, В. В. Парусов, О. В. Парусов, М. А. Жигарев. – Металлургическая и горнорудная промышленность. 2002. №№ 8...9. – с. 306...313.
3. *Пикеринг* Ф. Б. . Физическое металловедение и разработка сталей. – М.: Металлургия, 1982. – 182 с.
4. *Lestani M.* Danieli structure control system. DSC. – Danieli – Morgardshammar. Butrio. 1995.
5. *Усовершенствование* технологии производства катанки из низколегированной стали для сварочной проволоки / В. А. Масленников, Е. А. Крупский, В. Л. Корнилов и др. //Бюлл. «Черметинформация. Черная металлургия». – 1990. – № 11. – С. 66–67.
6. *Анализ* влияния температуры конца прокатки катанки на структуру и механические свойства проволоки/ В. А. Кулеша, В. Н. Дегтярев, Д. М. Хабibuлин и др. //Бюлл. «Черметинформация. Черная металлургия». – 2000. – № 3,4. – С. 64–65.

7. *Влияние прокатки в двухфазной области на структуру и механические свойства катанки и проволоки из стали Св-08Г2С/* В. А. Кулеша, В. Н. Дегтярев, Д. М. Хабибулин и др. // Бюлл. . «Черметинформация. Черная металлургия». – 2001. – № 6. – С. 69...73.
8. *Структура и свойства катанки из борсодержащих сталей, предназначенной для изготовления сварочной проволоки/* В. В. Парусов, А. М. Нестеренко, А. Б. Сычков, М. А. Жигарев. // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2000. – № 3. – С. 48–51.
9. *Разработка технологии производства высокопластичной катанки из непрерывнолитой стали Св-08Г2С/* В. В. Парусов, А. М. Нестеренко, А. Б. Сычков, А. И. Сивак. // В Сб. научных трудов «Строительство, материаловедение, машиностроение. Стародубовские чтения». – Вып.12. – Днепропетровск: ПГАСА, 2001. – Сс. 88–89.
10. *Структурно-технологические аспекты производства высокопластичной катанки из стали Св-08Г2С/* В. В. Парусов, А. М. Нестеренко, А. Б. Сычков, О. В. Парусов. // В Сб. научных работ «Перспективные задачи инженерной науки». –Вып. 3. – Днепропетровск: Guadeamus, – 2002. – С.148–153.