

**ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА И ПЕРЕРАБОТКИ КАТАНКИ
ПОВЫШЕННОЙ ДЕФОРМИРУЕМОСТИ ИЗ ЛЕГИРОВАННЫХ
СТАЛЕЙ СВАРОЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

д.т.н., проф. Парусов В.В.* , к.т.н. Парусов О.В.* , к.т.н. Чуйко И.Н.,
д.т.н. Сычков А.Б.** , Дервянченко И.В.** , к.т.н. Парусов Э.В.*

* – *Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины*

** – *ОАО «Молдавский металлургический завод»*

В начале третьего тысячелетия сварка является одним из ведущих технологических процессов создания материальной основы современной цивилизации. Более половины валового национального продукта промышленно развитых стран создается с помощью сварки и родственных технологий. До 2/3 мирового потребления стального проката идет на производство сварных конструкций и сооружений. Во многих случаях сварка является единственно возможным или наиболее эффективным способом создания неразъемных соединений конструкционных материалов и ресурсосберегающего получения заготовок, максимально приближенных по геометрии к оптимальной форме готовой детали или конструкции. Непрерывный рост наукоемкости сварочного производства способствует повышению качества продукции, ее эффективности и конкурентоспособности.

Для производства эффективной сварочной проволоки из легированной стали, в свою очередь, необходима высококачественная металлургическая заготовка – катанка, способная к прямому (без дополнительной умягчающей термической обработки) волочению после механического удаления окалины, что вполне осуществимо при современном уровне развития металлургического и метизного производств.

Традиционная технология производства омедненной сварочной проволоки из легированных сталей включает в себя операцию умягчающей термической обработки (отжига), что приводит к повышению потребления энергоресурсов и, как следствие, к значительному удорожанию конечной продукции, снижающей ее конкурентоспособность на рынке.

Необходимость проведения дополнительной операции отжига обусловлена высокими значениями прочностных характеристик исходной катанки, вызывающей снижение технологической пластичности при волочении проволоки. Поэтому повышение технологической пластичности катанки сварочного назначения является актуальной научно-технической задачей.

В настоящее время во многих странах наблюдается тенденция к переходу металлургических предприятий на электродуговой способ выплавки стали. Однако, в такой стали за счет высокотемпературной электрической дуги наблюдается повышенное содержание азота по сравнению со сталью

кислородно-конверторного и мартеновского производств. Азот является вредной примесью в прокате, подвергаемом волочению с большими степенями деформации, из-за проявления эффекта деформационного старения металла.

В условиях ОАО «Молдавский металлургический завод» (ОАО «ММЗ») была разработана и освоена технология производства катанки сварочного назначения повышенной деформируемости из борсодержащих легированных электросталей марок Св-08ГНМ, Св-08Г1НМА, Св-10ГАА, Св-08ХГ2СМФ, Св-10ХГ2СМФ, Св-08Г1НФАА, Св-08Г1Н2ФАА и др.

При отсутствии в электростали традиционно вводимых нитридообразующих элементов, бор связывается с азотом и образует нитрид бора – ВN. Деазотирующее влияние микродобавок бора приводит к снижению деформационного старения в процессе волочения проволоки [1]. Также в результате микролегирования стали бором наблюдается повышение ударной вязкости, которое связано с образованием мелкодисперсной фазы – нитрида бора [2], который преимущественно выделяется по границам рекристаллизованных аустенитных зерен.

Отношение содержаний бора к азоту (В/N) является важной качественной характеристикой борсодержащей стали сварочного назначения, поскольку оно определяет нахождение бора и азота в железе в связанном или в свободном состоянии:

- при $V/N < 0,8$ бор находится в связанном состоянии, а азот частично в связанном и частично в свободном состояниях;
- при $V/N = 0,8$ бор и азот находятся в связанном состоянии;
- при $V/N > 0,8$ азот находится в связанном состоянии, а бор частично в связанном и частично в свободном состояниях.

Нахождение бора в свободном состоянии (в твердом растворе) обуславливает увеличение количества бейнито-мартенситных участков в структуре катанки и, следовательно, повышение прочностных характеристик катанки-проволоки.

В связи с изложенным более конкретное влияние отношения В/N и углеродного эквивалента (C_s) на механические характеристики (σ_b , σ_t и ψ) катанки из стали марок Св-08ГНМ и Св-08Г1НМА оценивали на основе метода многокритериальной оптимизации [3], рис. 1.

На основе анализа построенных зависимостей было установлено:

- при $C_s \approx 0,41$ % (среднее значение) минимальные значения σ_b и σ_t соответствуют отношению $V/N \approx 0,8$ (рис. 1, а, б);
- при $C_s < 0,41$ % значения σ_b и σ_t сохраняют неизменные значения при $V/N > 0,8$; так при $V/N \approx 1,49$ и $C_s \approx 0,37$ % $\sigma_b \approx 512$ Н/мм², а $\sigma_t \approx 311$ Н/мм² (рис. 1, а, б);
- при $C_s > 0,41$ % и $V/N > 0,8$ происходит рост (на ≤ 30 %) прочностных характеристик катанки;
- ψ при $C_s \leq 0,39$ не зависит от отношения В/N, а при $C_s > 0,39$ % ψ повышается с увеличением отношения В/N (рис. 1, в).

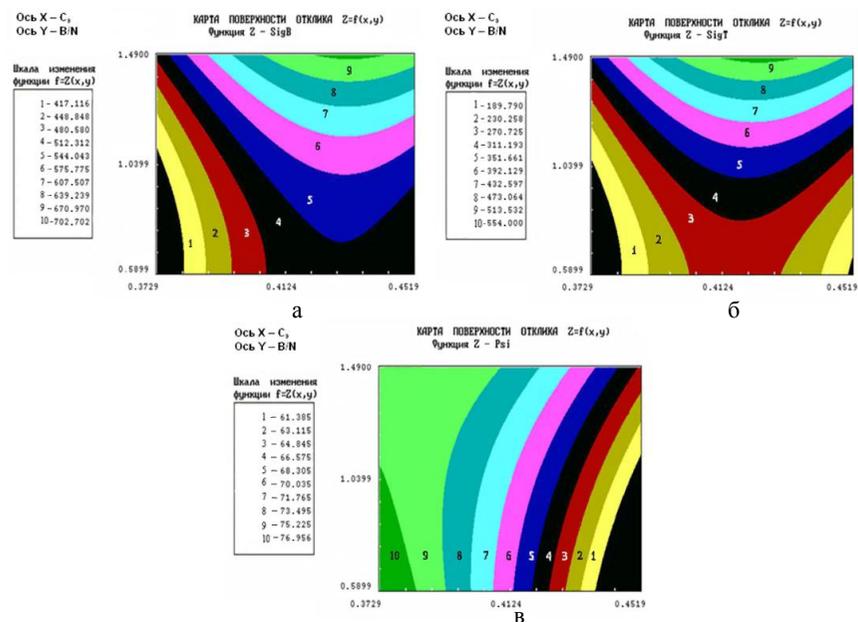


Рис. 1. Зависимость $\sigma_{в}$ (а), $\sigma_{т}$ (б), ψ (в) катанки из электростали марок Св-08ГНМ и Св-08Г1НМА от углеродного эквивалента и отношения содержаний бора к азоту.

Таким образом, оптимальным значением отношения B/N следует считать 0,8. Необходимо отметить, что в производственных условиях отношение $B/N = 0,8$ может быть выполнено с допуском $\pm 0,15$.

Следовательно, для минимизации прочностных характеристик катанки из исследуемых сталей необходимо обеспечить: B/N в пределах $0,8 \pm 0,15$; C₃ – не более 0,41 %.

Проведенными исследованиями было установлено, что снижение технологической пластичности катанки из легированных сталей сварочного назначения обусловлено следующими структурными факторами:

- уменьшением размера зерна феррита;
- увеличением объемной доли бейнито-мартенситных участков в структуре катанки.

Увеличение значения B/N свыше 0,95 при C₃ = 0,41 % обуславливает повышение устойчивости переохлажденного аустенита стали [4]. Повышение устойчивости аустенита приводит к тому, что в процессе охлаждения выделяется мелкозернистый (номер 10...12 по ГОСТ 5639) феррит и повышенное количество (более 10 %) бейнито-мартенситных структур, рис. 2, а.

При значениях C_3 и V/N , равных соответственно 0,41 % и 0,8, и неизменной скорости охлаждения аустенит распадается на крупнозернистый (номер 8...9) феррит в количестве ≥ 95 % и бейнито-мартенситные структуры (≤ 5 %), рис. 2, б.

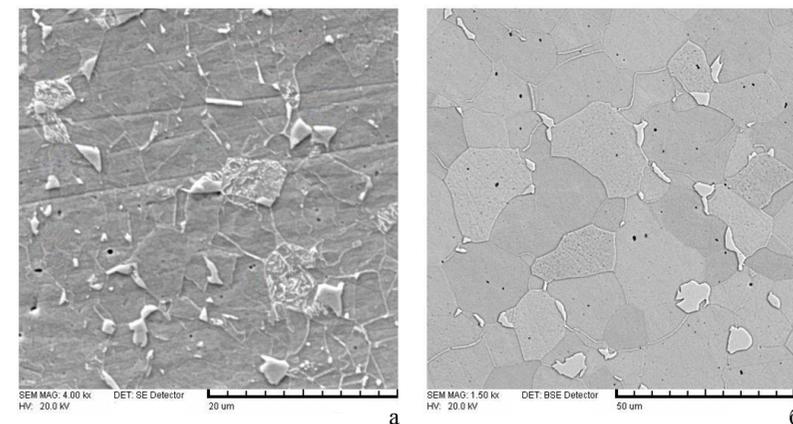


Рис. 2. Микроструктура (а – $\times 4000$; б – $\times 1500$) катанки из стали Св-08ГНМ, образующаяся при одинаковых режимах охлаждения: а – $C_3 = 0,43$ %, $V/N = 1,22$, $\sigma_b = 707$ Н/мм²; б – $C_3 = 0,38$ %, $V/N = 0,83$, $\sigma_b = 435$ Н/мм².

Таким образом, для повышения технологической пластичности при волочении катанки-проволоки необходимо: снизить C_3 в рамках существующей нормативной документации на химический состав стали (в основном, за счет уменьшения в пределах марочного состава максимальных содержаний С, Мп и Мо); обеспечить отношение V/N на уровне, близком к стехиометрическому в нитриде бора ($V/N \approx 0,8$).

Анализ технологичности переработки исследуемой катанки в условиях метизных предприятий показал возможность прямого волочения до конечного размера проволоки с предварительным удалением поверхностной окалины как механическим, так и химическим способами.

Катанку диаметром 5,5 мм подвергали волочению в проволоку, диаметр которой зависел от марки стали: Св-08ГНМ – до 2,0 мм (суммарная степень деформации до 86,8 %); Св-08ГНМА – до 3,0 мм (суммарная степень деформации до 70,2 %). При этом механические характеристики готовой проволоки соответствовали требованиям ГОСТ 2246-70 и спецификациям заказчиков.

На основании статистических и рассчитанных по методике [1] данных для процесса прямого волочения установлены зависимости деформационного упрочнения проволоки от предела прочности катанки из легированных сталей, рис. 3.

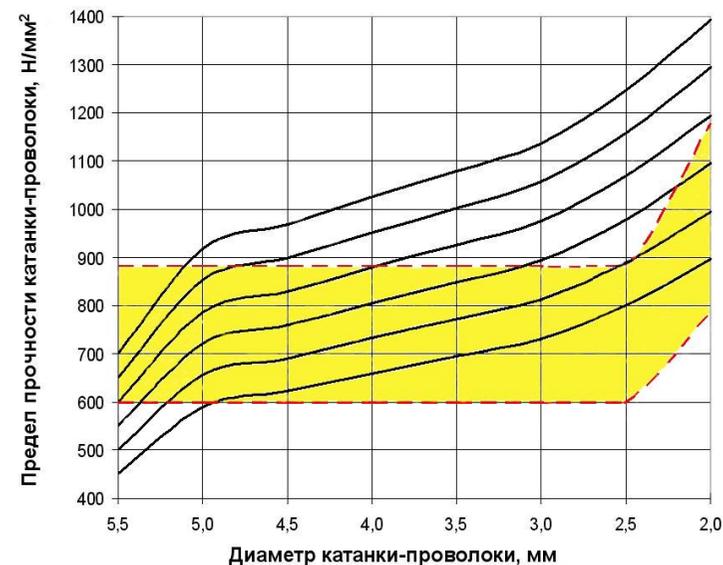


Рис. 3. Влияние предела прочности катанки из легированных сталей на деформационное упрочнение проволоки: сплошными линиями обозначены кривые деформационного упрочнения; пунктирными – ограничена область нормативных требований.

Из представленной зависимости следует, что для обеспечения после прямого волочения требуемых механических характеристик проволоки диаметром 4,0...2,0 мм временное сопротивление катанки в состоянии поставки должно находиться в пределах 450...550 Н/мм² [5].

Однако, зачастую металлургические предприятия сталкиваются с проблемой несоответствия прочностных характеристик проволоки диаметром более 2,0 мм требованиям ГОСТ 2246-70. Вследствие относительно низкой прочности катанки диаметром 5,5 мм в состоянии поставки ($\sigma_b = 450...550$ Н/мм²) и невысокой суммарной степени обжатия при волочении на диаметры 3,0...5,0 мм не всегда удается обеспечить минимально необходимый уровень временного сопротивления разрыву проволоки.

Согласно требованиям ГОСТ 2246-70 временное сопротивление разрыву проволоки диаметром свыше 2,0 мм должно находиться в интервале 686...1029 Н/мм². С учетом этого для проволоки диаметром 3,0 мм (площадь поперечного сечения 7,068 мм²) критические значения разрывного усилия находятся в интервале 4849...7273 Н. Для проволоки диаметром 4,0 мм (площадь поперечного сечения 12,566 мм²) критическим разрывным усилием 4849...7273 Н соответствует интервал значений временного сопротивления разрыву 386...579 Н/мм². Для проволоки диаметром 5,0 мм (площадь поперечного сечения 19,634 мм²) критическим разрывным усилием

4849...7273 Н соответствует временное сопротивление разрыву 247...370 Н/мм².

Таким образом, при условии нахождения разрывного усилия проволоки в интервале 4849...7273 Н конструктивная прочность проволоки диаметром 3,0 мм с $\sigma_b = 686...1029$ Н/мм² равна конструктивной прочности проволоки диаметром 4,0 мм с $\sigma_b = 386...579$ Н/мм² и равна конструктивной прочности проволоки диаметром 5,0 мм с $\sigma_b = 247...370$ Н/мм².

На основании вышеизложенного целесообразно пересмотреть требования к временному сопротивлению проволоки диаметром более 2,0 мм, поскольку нормы ГОСТ 2246-70 не являются обоснованными.

Целесообразными являются следующие нормы временного сопротивления разрыву сварочной проволоки:

Диаметр проволоки, мм	Временное сопротивление разрыву, Н/мм ²
5,0	не менее 400
4,0	не менее 600
3,0	не менее 700

Химический состав и механические свойства катанки повышенной деформируемости из легированных сталей сварочного назначения производства ОАО «ММЗ» в настоящее время временно нормируются техническим соглашением ТО/ТС-СС-01-2008. Основными потребителями такой катанки являются ОАО «Северсталь-метиз» и ОАО «Межгосметиз-Мценск».

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Коковихин Ю.И. Технология сталепроволочного производства – К., 1995. – 608 с.
2. Лякишев Н.П., Плинер Ю.Л., Лаппо С.И. Борсодержащие стали и сплавы – М.: Металлургия, 1986. – 192 с.
3. Методика анализа и прогнозирования механических свойств конструкционных сталей с учетом влияния неконтролируемых легирующих элементов / Можаренко Е.Н., Тогобицкая Д.Н. // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии: Сб. науч. труд. – К.: Наукова Думка, 1999. – Вып. 3. – С. 116–119.
4. Влияние химического состава на структуру, свойства и технологическую пластичность катанки сварочного назначения из стали Св-08ГНМ / Парусов В.В., Сычков А.Б., Чуйко И.Н. и др. // Теория и практика металлургии. – 2009. – № 1–2. – С. 98–102.
5. Оценка технологичности переработки катанки из легированных сталей сварочного назначения на метизном переделе / Парусов В.В., Чуйко И.Н., Парусов О.В. и др. // Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. научн. тр. – Днепропетровск: ПГАСА, 2009. – Вып. 48, – Ч. 2. – С. 8–11.