



*The scientifically and economically justified requirements to the chemical composition of nonageing low-carbon low-silica (no more than 0.010%) boron modified (0.003%) dead-melted steel are offered. Rod for welding wire of small diameters in the process of high-speed rolling should be expose to softening TMO.*

*В. А. ЛУЦЕНКО, Институт черной металлургии НАН Украины,  
М. А. МУРИКОВ, ОАО «БМЗ»,  
В. А. ПОЛЯКОВ, В. А. КОНДРАШКИН, Институт черной металлургии НАН Украины,  
В. И. ГРИЦАЕНКО, ОАО «БМЗ»*

УДК 621.771.25:621.791:539.52

## ОСОБЕННОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОИЗВОДСТВА КАТАНКИ СВАРОЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ С ВЫСОКОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПЛАСТИЧНОСТЬЮ

Одной из задач черной металлургии является обеспечение металлпотребляющих отраслей металлопрокатом высокого качества и требуемого сортамента, в том числе перспективного. В полной мере это относится к сварочной проволоке, использование и области применения которой постоянно расширяются.

При изготовлении ответственных сварочных конструкций из легированных сталей методом газозлектрической сварки широко применяются легированные сварочные проволоки марок Св-08Г2С, Св-08ГСНТ, Св-10НМА и др. (ГОСТ 2246). При этом практика сварочных работ ставит перед производителями задачи использования для этих целей проволоки малых диаметров. Однако изготовление проволок малых диаметров на метизных предприятиях обуславливает необходимость дополнительных технологических операций, включающих промежуточный отжиг и травление. Это приводит к ухудшению санитарно-гигиенических условий труда, а также к дополнительным ресурсопотребляющим и финансовым затратам и, как следствие, повышению себестоимости выпускаемой продукции.

Известно, что на процессы волочения катанки на проволоку в значительной степени оказывает влияние содержание кремния в стали, вызывающего образование крупных силикатов в металле. Существует мнение, что создание сталей, в которых ограничено содержание охрупчивающих элементов – углерода (не более 0,09%), кремния (не более 0,1%) и азота (не более 0,007%) при обеспечении содержания кислоторастворимого алюми-

ния в пределах 0,02–0,05%, позволит в метизном переделе получать проволоку малых диаметров без промежуточной термообработки.

Для устойчивого прямого волочения катанки на проволоку малых диаметров необходимо обеспечить химическую однородность металла, высокое качество поверхности подката и макроструктуры, пониженную загрязненность неметаллическими включениями, а также низкую чувствительность катанки к деформационному старению [1].

Снижение пластичности и охрупчивание подката в процессе изготовления проволоки малых диаметров обусловлены прежде всего наличием несвязанного в нитриды азота, который находится в  $\alpha$ -железной матрице и вместе с углеродом тормозит движение дислокаций, а также образует неустойчивые нитриды ( $\text{Fe}_2\text{N}$ ,  $\text{Fe}_4\text{N}$  и  $\text{Fe}_{12}\text{N}_2$ ) или карбонитриды (типа  $\text{Fe}_{15}(\text{N}_2\text{C})_2$ ). Это вызывает необходимость для предотвращения обрывности в процессе волочения применения специальных щадящих режимов холодной обработки металла (снижение скорости волочения, использование промежуточного отжига и травления). Поэтому основным и необходимым мероприятием для получения нестаряющейся высокодеформируемой катанки, по современным воззрениям металлофизики и современной теории производства сталей высокого качества, является снижение концентрации азота в металле и связывание его в прочные нитриды за счет использования высокоэффективных, недорогих и доступных в металлургической практике микролегирующих элементов с высоким сродством к азоту и углероду [2–4].

Кроме наклепа металла, вызываемого азотом и углеродом, снижает деформационную способность металла образование неметаллических включений, приводящих к ослаблению поверхностных и внутренних слоев, повышению неоднородности (анизотропности) подката по его толщине и длине [5].

Учитывая высокие требования по деформируемости рассматриваемой металлопродукции, в современных мировых и отечественных стандартах отмечена тенденция в регламентировании содержания азота в низкоуглеродистых сталях не более 0,004–0,006%. Получение низкоазотистой стали с пониженным содержанием углерода, цветных и вредных примесей позволит обеспечить необходимые условия для создания сталей нового поколения и получать катанку высокой пластичности.

Основным условием получения нестареющего металла является максимальное связывание имеющегося в стали азота специальными добавками в прочные мелкодисперсные нитриды и оксиды в  $\alpha$ -железе. Эти нитриды должны быть мелкодисперсными, в большинстве случаев когерентными с кристаллической решеткой феррита и не должны вызывать торможения дислокаций в процессе прямого волочения катанки.

На основании обобщения и анализа данных о сортаменте нитридообразующих элементов, запасов минерально-сырьевых ресурсов и отходов промышленности СНГ определены недефицитные, недорогие и доступные в металлургической практике стабилизирующие элементы с высоким сродством к азоту в твердом железе (Al, Ti, B).

Сродство элементов к азоту (по изменению величины свободной энергии Гиббса) при комнатной температуре снижается в следующем ряду элементов: бериллий → цирконий → титан → алюминий → бор → тантал → ниобий → ванадий → марганец → хром → молибден → вольфрам [2].

Бериллий, тантал, ниобий, ванадий, молибден и вольфрам являются элементами стратегической группы и поэтому не могут быть рекомендованы для рассматриваемых целей. Не могут быть использованы хром и кремний, содержания которых в новых сталях должны быть минимизированы.

Экспериментальные плавки показали, что требуемая для спокойной низкоуглеродистой и малоуглеродистой стали степень раскисленности металла достигается при вводе 0,005% алюминия (кислоторастворимого) и 0,010% титана [6].

Термодинамические расчеты показывают, что при температурах холодной деформации подката расчетная растворимость азота в металле составляет  $5,07 \cdot 10^{-7}$ – $6,81 \cdot 10^{-8}$ %. Для бора [5] установле-

но, что даже при вводе (модифицировании) 0,001–0,003% нитридообразующей микродобавки содержание несвязанного, свободного азота снижается до очень низких значений ( $1 \cdot 10^{-40}$ % и ниже). Это свидетельствует о том, что при наличии в стали бора, титана и алюминия (кислоторастворимого в количествах более 0,003%) должно обеспечиваться холодное деформирование подката из спокойных сталей с невысоким наклепом.

Современная технология производства омедненной сварочной проволоки включает механическое удаление окалины; волочение катанки диаметром 5,5 мм на девятикратном стане на проволоку до диаметра 2,2–2,0 мм; последующее мокрое волочение (в растворе эмульсии) на проволоку конечного диаметра 1,6–0,8 мм, совмещенное с омеднением.

Операции промежуточного рекристаллизационного отжига проволоки в случае такой технологической схемы полностью исключаются.

Исследования, проведенные на катанке из стали марки Св-08Г2С [7], показали, что наблюдаемая в ряде случаев повышенная обрывность при волочении обусловлена структурными факторами. Наиболее существенным в этом плане является наличие в структуре упрочняющих сталь бейнито-мартенситных участков кристаллов высокодислокационного пластинчатого мартенсита с многочисленными микродвойниками, которые при деформации служат барьерами продвижения дислокаций. Образующиеся при деформации феррита и мартенсита массивные дислокационные скопления трансформируются в микро- и макротрещины, что собственно и инициирует разрушение проволоки в процессе волочения.

При режимах двухстадийного охлаждения, реализуемых на линии Стелмор, в катанке из низкокремнистых микролегированных спокойных сталей может формироваться гамма дислокационно насыщенных феррито-мартенситных и смешанных (феррито-перлитно-бейнито-мартенситных) структур, определяющих комплекс механических и технологических свойств. Такое структурное соотношение можно регулировать разупрочняющей термомеханической обработкой, при которой количество островковых бейнито-мартенситных участков незначительное, а расстояние между ними большое. В работе [8] показана возможность реализации механизма перемещения дислокаций через островковые (до 10%) мартенситные и бейнитные участки структуры при наложении деформационного воздействия, поэтому пластические свойства такой катанки и ее способность к деформационному формоизменению высокие, что позволяет в тех-

нологической схеме производства проволоки (диаметр менее 1,6 мм) исключить промежуточную смягчающую термическую обработку.

Эти технологические особенности разупрочняющей термомеханической обработки учтены в техническом задании на строительство нового мелко-сортно-проволочного стана ОАО «БМЗ», что позволит освоить производство высоколиквидной низколегированной катанки-проволоки сварочного назначения.

### Выводы

При разработке рационального химического состава нестареющих низкоуглеродистых мало-кремнистых спокойных сталей и режимов обработки при изготовлении катанки и сварочной проволоки малого диаметра необходимо использовать следующие принципы:

1. Для нестареющей металлопродукции необходимо обеспечить в стали не менее 0,02% алюминия (кислоторастворимого), 0,010% титана и модифицированных бором до 0,003%.

2. Низкое содержание кремния в стали (не более 0,010%) обеспечивает не только увеличение деформируемости катанки, но и способствует получению высокой сплошности по ее сечению и однородности свойств за счет предотвращения образования силикатов.

3. Содержание вредных примесей, таких, как сера и фосфор, ограничивается значениями не более 0,015–0,020% каждого.

4. Катанку из низкокремнистых микролегированных спокойных сталей в процессе высокоскоростной прокатки необходимо подвергать разупрочняющей ТМО, в процессе которой на завершающей стадии проводят замедленное охлаждение, что обеспечивает формирование смешанной феррито-перлитно-бейнито-мартенситной структуры. Реализация механизма перемещения дислокаций через островковые (до 10%) мартенситные и бейнитные участки структуры при наложении деформационного воздействия обеспечивает высокие пластические свойства при переработке катанки на проволоку прямого волочения диаметром менее 1,6 мм.

### Литература

1. Научные и технологические основы микролегирования стали / В. Л. Пилюшенко, В. А. Вихлевщук, С. В. Лепорский, А. М. Поживанов. М.: Металлургия, 1994.
2. Упрочнение конструкционных сталей нитридами / М. И. Гольдштейн, А. В. Гринь, Э. Э. Блюмм и др. М.: Металлургия, 1970.
3. Я н к е Д. Изменение содержания азота при производстве черных металлов // Черные металлы. 1992. № 2. С. 3–10.
4. Технология микролегирования стали карботермическим ферробором / Ю. Н. Омесь, В. А. Вихлевщук, А. В. Кекух и др. // Металлургическая и горнорудная промышленность. 1999. № 4. С. 40–43.
5. М о р о з о в А. Н. Водород и азот в стали. М.: Металлургия, 1991.
6. Низко- и малокремнистые спокойные стали с повышенной пластичностью и свариваемостью / В. А. Вихлевщук, В. М. Черногрицкий, В. С. Харахулах и др. // Тр. II конгресса сталеплавателей. М.: Ассоциация сталеплавателей. АО «Черметинформация», 1994. С. 254–256.
7. Н е с т е р е н к о А. М., С ы ч к о в А. Б., Ж у к о в а С. Ю. Исследование причин разрушения при волочении катанки-проволоки из стали Св-08Г2С // Металлургическая и горнорудная промышленность. 2006. № 6. С. 60–63.
8. Л у ц е н к о В. А. Особенности формирования структуры и свойств при термомеханической обработке катанки из никельмолибденовой стали сварочного назначения // Литье и металлургия. 2012. № 2. С. 71–74.