

CZU: 669.1

СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА КАТАНКИ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СВАРОЧНОЙ ПРОВОЛОКИ

**Сычков А.Б., Жигарев М.А., Жукова С.Ю., Перчаткин А.В., Нестеренко А.М.,
Перегудов А.В., Гункина О.Г., Верещагина О.Н.**

Приводятся результаты исследований структурообразования и эффективного химического состава и дано описание сквозной технологии производства стали и катанки.

Существует два технологических процесса производства сварочной проволоки с использованием катанки, изготовленной из стали марок типа Св-08Г2С, Св-08ГНМ, Св-08Г1НМА, Св-08ХГ2СМФ, и т.п. [1].

Традиционная технология заключается в химическом удалении окалины, волочении катанки диаметром 5,5...6,5 мм в проволоку диаметром 5,0...0,8 (0,6) мм с применением 1...2 операций смягчающей термической обработки (рекристаллизационного отжига) и последующего омеднения. Для увеличения эффекта рекристаллизации структуры (восстановления пластических свойств) многие исследователи рекомендуют применение упрочняющей термообработки исходной катанки (понижение температуры виткообразования или окончание прокатки в межкритическом двухфазном интервале температур $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения и т.п.) [2]. Такая технологическая схема производства сварочной проволоки из легированных сталей неэффективна: она затратная, имеет значительную продолжительность технологического цикла, требует использования большего количества технологического оборудования и производственных площадей, увеличенный штат технологического и обслуживающего персонала, загрязняет окружающую среду.

Новая, современная технология, все больше применяемая в практике, предполагает получение сварочной проволоки необходимых конечных диаметров и с омедненной поверхностью без применения смягчающей термообработки как заготовки (катанки), так и проволоки в промежуточных

диаметрах за счет обеспечения уникального комплекса свойств катанке, способной деформироваться до конечных диаметров 0,8 (0,6) мм и выше (в зависимости от марки стали и ее назначения для дальнейших сварочных работ). Современная технология волочения катанки в проволоку без применения смягчающих термообработок делится на следующие технологические этапы: механическое удаление окалины, сухое волочение катанки на промежуточный диаметр 5,15...1,7 мм (в зависимости от марки стали), затем без применения промежуточной термообработки – или тонкое (мокрое) волочение, совмещенное с электрохимическим омеднением поверхности проволоки диаметром 1,6...0,8 (0,6) мм или грубое (сухое) волочение проволоки диаметром 5,0...2,0 мм и омеднение. Преимущества новой схемы производства сварочной проволоки очевидны – сокращение затрат на:

- травление катанки и проведение смягчающей термической обработки катанки - проволоки;
- эксплуатацию и обслуживание термического оборудования;
- сокращение штата технологического и обслуживающего персонала;
- утилизацию продуктов химического травления окислов с поверхности катанки.

При этом улучшается экология производственной и окружающей среды.

В условиях ММЗ освоение производства сварочной катанки из легированных марок стали основано на стали типа Св-08Г2С, которая исторически предназначалась для изготовления сварочной проволоки по традиционной

схеме на метизных предприятиях СНГ, и только с 2003 г. (хотя отдельные попытки проводились и ранее) – современной схеме для ОАО Межгосметиз-Мценск (МГММ) [1]. Естественно, что для последней – современной схемы производства сварочной проволоки требуется катанка, обладающая чрезвычайно высокими пластичностью и способностью к холодной деформации со значительной ее суммарной степенью (ε_{Σ} до 98.8 %). Учитывая опыт освоения и внедрения новейших технологий при производстве катанки из стали типа Св-08Г2С, достигнутые при этом положительные результаты переработки способом безотжигового волочения на метизных предприятиях в готовую омедненную проволоку диаметром до 0,8 мм, специалистами ММЗ освоено и внедрено производство катанки из стали марок типа Св-08ГНМ, Св-08Г1НМА, Св-08ХГ2СМФ, способной подвергаться холодной деформации (холодному волочению) до необходимых конечных диаметров без начальной или промежуточной термических обработок. Для повышения технологической пластичности указанных сталей применяют способы [3], снижающие упрочняющий эффект при деформировании металла, то есть нейтрализующие механизмы дисперсионного, зернограничного, дислокационного упрочнения и легирования твердого раствора. В работе [4] нами разработаны принципы пластифицирования катанки сварочного назначения, снижающие действие выше перечисленных упрочняющих эффектов, которые заключаются в:

- уменьшении общей степени легирования твердого раствора путем понижения содержания в стали упрочняющих элементов в рамках требований НД с учетом допусков, а именно углерода, марганца, кремния, фосфора, хрома, никеля, меди, молибдена, ванадия;

- снижении микродеформации (МКД) кристаллической решетки феррита и плотности дислокаций ρ за счет вывода из твердого раствора атомов внедрения азота,

это достигается связыванием азота бором в мелкодисперсный нитрид бора в близком к стехиометрическому соотношению B/N \approx 0.8; размещением бора в позициях замещения;

- исключения в максимальной степени микроликвационных явлений в НЛЗ и прокате, вероятности формирования закалочных бейнитно-мартенситных участков (БМУ) при помощи уменьшения содержания в стали количества ликвирующих элементов, а также эффективной термической обработки стали и проката.

В связи с вышеуказанным, ниже приведены данные (табл. 1, 2) по химическому составу металла, механическим свойствам катанки, которые гарантировано выполняются при применении разработанных на ММЗ технологических процессов производства стали, ее внепечной обработки, непрерывной разливки, двустадийного охлаждения катанки на линии Stelmor.

Внедрение новых металлургического оборудования (VD, ЭМП, длинной линии Stelmor), технологий (микролегирование стали бором, модифицирование неметаллических включений (НВ) кальцием, снижение содержания углерода, марганца, фосфора и серы, термостатирование витков катанки на линии Stelmor) позволило обеспечить значительный пластифицирующий эффект.

Результаты лабораторных исследований четырех разнолегированных марок стали (Св-08Г2С, Св-08ХГ2СМФ, Св-08Г1НМА, Св-08ГНМ) показывают следующие закономерности. Наилучшие пластические характеристики катанки наблюдаются при изотермической выдержке в интервале температур 600...700°C в течение 20...30 мин, причем выдержка в течение 30 мин влияет в большей степени. Эти условия в максимальной степени соответствуют изотермическим условиям превращения аустенита в феррит. Наличие в ряде случаев бейнитно-мартенситных участков (БМУ) определяется структурным наследием металла.

Таблица 1. Химический состав легированных марок стали сварочного назначения

Марка стали	Массовая доля элементов, не более (или в пределах), %										
	C	Si	Mn	Mo	Ni	Cr	S	P	Cu	Nсвоб	V
Св-08Г2С	0,07	0,70-0,90	1,75-1,90	0,15	0,25	0,20	0,015	0,020	0,20	0,007	-
Св-08ГНМ	0,07	0,15-0,30	0,55-0,70	0,90-1,05	0,60-0,75	0,10	0,010	0,012	0,20	0,007	-
Св-08Г1НМА	0,07	0,20-0,35	0,97-1,10	0,60-0,70	0,50-0,60	0,10	0,010	0,012	0,20	0,007	-
Св-08ХГ2СМФ	0,04-0,08	0,20-0,40	1,00-1,40	0,50-0,70	0,20	0,70-1,00	0,020	0,020	0,15	0,007	0,15-0,30

Примечание. Количество бора отдаётся в сталь из расчёта обеспечения выполнения условия - $V/N_{общий} = 0,8 \pm 0,15$.

Таблица 2. Механические свойства катанки сварочного назначения

Марка стали	Механические свойства	
	$\sigma_B, \text{Н/мм}^2$	$\Psi, \%$
	не более	не менее
Св-08Г2С	520	70
Св-08ГНМ	650	60
Св-08Г1НМА	600	65
Св-08ХГ2СМФ	600	65

ТКД (рис. 1, 2) для металла из стали Св-08Г2С и Св-08ГНМ (ТКД построены М.Ф. Евсюковым – ИЧМ НАН Украины) в динамике процессов охлаждения косвенно подтверждают и изотермическую картину структурных превращений.

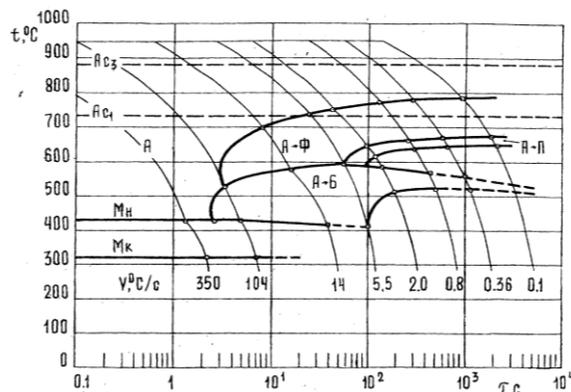


Рис. 1. Термокинетическая диаграмма превращений аустенита в электростали марки Св-08Г2С (C – 0,07 %; Mn – 1,79 %; Si – 0,78 %, V – 0,0084 %).

Так, из ТКД видно следующее.

1. Для стали марки Св-08Г2С в интервале скоростей охлаждения 5,5... 183°C/c после бейнитного превращения происходит мартенситное, а при скоростях охлаждения менее 5,5°C/c превращение аустенита

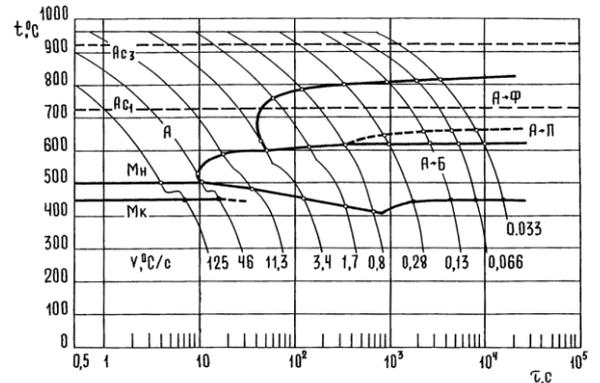


Рис. 2. Термокинетическая диаграмма превращения аустенита в электростали марки Св-08ГНМ.

практически заканчивается в бейнитной области. В зависимости от скорости охлаждения в структуре стали сохраняется до 5 % непревращенного аустенита. Область формирования ферритно-перлитной структуры – 550...600°C, а время выдержки – не менее 10³с.

2. Для стали марки Св-08ГНМ однофазная область формирования ферритно-перлитной структуры находится в диапазоне температур 620...727°C, центр этого диапазона ~ 650°C, а временной

интервал составляет $100 \dots 10^4$ с, в периоде – до бесконечности. Ниже (по температуре от 600 до 400°C) располагается бейнитная зона протяженностью во времени $10 \dots 10^4$ с и более, в периоде – до бесконечности. Снижение скорости охлаждения до 0.033°C/с и менее (фактически – условия изотермы) обеспечивает формирование в микроструктуре до 75 % феррита, 12 % перлита и остальное – остаточный аустенит и БМУ. Степень распада остаточного аустенита на зернистый бейнит составляет 15...20 %.

Таким образом, из анализа ТКД видно, что наличие в структуре металла БМУ неизбежно, при этом важно, в каком количестве и в каком структурном виде они существуют. Установлено, что при оптимальных режимах изотермической обработки вышеуказанных сталей количество БМУ можно минимизировать или свести к нулю в сталях сварочного назначения.

На основании проведенных исследований разработан химический состав стали марки Св-08Г2С, основанный на ограничении содержания упрочняющих химических элементов: $C \leq 0.07$ %; $Mn = 1.75 \dots 1.85$ %; $C_s = C + Mn/5 + Si/7 + (Cr + Ni + Cu)/12 \leq 0.550$ %; $Mn_s = Mn + (C + Si)/3 + Cr/5 + Cu/9 \leq 2.100$ %; $V/N = 0.8 \pm 0.15$; $V = 0.005 \dots 0.010$ % и достигнуто, в первую очередь, благодаря внедрению технологии вакуум–углеродного раскисления на установке вакуумирования стали, которая позволяет обеспечить следующие цели:

- комплексное обезуглероживание и раскисление расплава, проходящее с выделением тепла химических реакций, при этом присадок каких-либо дополнительных материалов - раскислителей не проводится;

- получение после вакуумирования расплава и присадки всех необходимых ферросплавов низких концентраций углерода (0.02...0.03 % С), что позволяет обеспечить выполнение требований НД по содержанию углерода и способствует обеспечению высоких пластических характеристик готовой продукции;

- удаление азота и водорода происходит гораздо эффективнее из

нераскисленного металла за счет образующихся газовых пузырей СО, которые являются дополнительными «транспортировщиками» газов из расплава; при этом необходимо учитывать положительное влияние перемешивания расплава инертным газом (аргоном) по ходу всей вакуумной обработки;

- увеличение коэффициентов усвоения кремния и марганца за счет проведения ВУР до присадки оставшейся (большей) части ферросплавов.

Для стали марок Св-08ГНМ, Св-08Г1НМА, Св-08ХГ2СМФ минимизируется содержание марганца, кремния никеля, молибдена, ванадия на уровне нижнего содержания этих элементов в нормируемом марочном составе плюс 0.05 %, содержание углерода – не более 0.07 %, фосфора – не более 0.012 % , серы – не более 0.005%, азота – из расчета его связывания бором: $N - V/(0.8 \pm 0/15)$.

Режимы термической обработки катанки на линии Stelmor: температура перед проволочным блоком $t_0 \leq 970^\circ\text{C}$; температура виткообразования $t_{в/у} = 950 \dots 1000$ °С (пластификация стали за счет высокооднородного аустенита, удовлетворительное удаление окалины с поверхности катанки перед волочением с формированием затем качественного медного покрытия проволоки); тепло-изолирующие крышки закрыты, скорость роликового транспортера витков - $V_{тр.} = 0.09 \dots 0.12$ м/с; средняя скорость охлаждения - $V_{охл.} = 0.28 \dots 0.38$ °С/с.

Переработка высокопластичной катанки повышенной деформируемости при прямом волочении в сварочную проволоку на метизных заводах Российской Федерации (ОАО «Северстальметиз» - Волгоград; ОАО «Межгосметиз – Мценск» - МГММ; ОАО «Балтийский металлургический завод», Санкт-Петербург; ОАО «ВЭЛ»), Украины (Стальканат, Одесса; ОАО «Днепромметиз», Днепропетровск; ООО «МЕТКАН», Запорожье; ЗАО АМЗ «ВИСТЕК», Артемовск) и дальнего зарубежья (Hod metal – Израиль, Mechel Campia Turzii – Румыния) показала её высокую технологичность и полное соответствие

нормативной документации и требованиям потребителей готовых электродов и проволоки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Освоено производство высокопластичной катанки повышенной деформируемости из легированной стали сварочного назначения Св-08Г2С, Св-08ГНМ, Св-08Г1НМА, Св-08ХГ2СМФ и др. Исследовано структурообразование и разработаны эффективные химический состав и сквозная технология производства стали и катанки.

ЛИТЕРАТУРА

1. КОСТЮЧЕНКО, В.П.; ТАРАНЕЦ, М.А.; ДЕГТЯРЕНКО, З.А.; ШАМИН, С.А.; КУЗЯКОВ, В.Д. Особенности производства сварочной омедненной проволоки на ОАО

CZU: 669.1

STRUCTURE FORMATION AND DEVELOPMENT OF ROD PRODUCTION TECHNOLOGY TO PRODUCE WELDING WIRE

A.B. Sychkov, M.A. Zhigariov, S.Ju. Zhukova, A.V. Perchatkin, A.M. Nesterenko, A.V. Peregudov, O.G. Gunkina, O.N. Vereshchagina

The work presents the results of investigations on the structure formation and development of rod production technology to produce welding wire. An Effective chemical composition has been developed and a description of open-ended technology of steel and rod production is described.

"Межгосметиз-Мценск". – Сварщик в Белоруссии. 2005. № 1(8). С. 12-15.

2. КУЛЕША, В.А.; ДЕГТЯРЕВ, В.Н.; ХАБИБУЛЛИН, Д.М. и др. Влияние прокатки в двухфазной области на структуру и механические свойства катанки и проволоки из стали 08Г2С. – БТИ Черметинформация: Черная металлургия. 2000. № 6. С. 69-73.

3. ТУШИНСКИЙ, Л.И. Теория и технология упрочнения металлических сплавов. – Новосибирск: Наука, 1990. 306 с.

4. ПАРУСОВ, В.В.; ЧУЙКО, И.Н.; ПАРУСОВ, О.В.; ЕВСЮКОВ, М.Ф.; СЫЧКОВ, А.Б.; ЖИГАРЕВ, М.А.; ПЕРЧАТКИН, А.В. Структурообразование в катанке из легированных сталей сварочного назначения. – Металлургическая и горнорудная промышленность. 2008. № 6. С. 47-49.

Prezentat la redacție la 16.12.2010