

СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА КАТАНКИ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВЫСОКОПРОЧНЫХ СТАБИЛИЗИРОВАННЫХ АРМАТУРНЫХ КАНАТОВ

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

В данной работе приводятся результаты исследований по разработке технологии производства высокопрочной катанки, микролегированной ванадием и хромом. Микролегирование вышеуказанными элементами способствует появлению в структуре катанки закалочных структур мартенсита, которые совпадают с ликвационной полосчатостью в стали.

В последнее время возрос спрос на высокоуглеродистую катанку для стабилизированных арматурных канатов. Сооружение в массовом порядке, в первую очередь, в Европе вантовых мостов, железобетонных конструкций в промышленном и гражданском строительстве (автомагистрали, виадуки, домостроение и т.п.); вызвало острую потребность в арматурных 7-ми проволочных канатах диаметром 9.3...19 мм и более классов прочности 1670...2000 МПа и выше. Для изготовления таких арматурных канатов необходима катанка диаметром 8...15 мм преимущественно с пределом прочности 1150...1200 МПа и выше [1]. Обеспечение такой прочности для катанки, особенно больших диаметров, весьма затруднительно и поэтому актуально. Кроме того, необходимо учитывать то, что в процессе стабилизации канатов происходит снижение предела прочности до 5...10 % от уровня прочности исходной проволоки.

Разработка и освоение технологических процессов производства высокоэффективных видов катанки в условиях Молдавский металлургический завод (ММЗ) имеют ряд особенностей, связанных с малым сечением НЛЗ (квадрат 125x125 мм) [2] и использованием металлолома с повышенным содержанием цветных металлов (Cr, Ni, Cu) [3], насыщением стали азотом в процессе электродуговой выплавки [4].

Полученные при выполнении настоящей работы результаты позволили заводу расширить марочный сортамент выпускаемой высококачественной продукции,

увеличив, тем самым, рынки сбыта для продукции завода. Результаты научных исследований были использованы в разработке рекомендаций по модернизации и реконструкции существующего оборудования.

Требования, предъявляемые к качеству высокопрочных стабилизированных арматурных канатов (далее ВСАК), - высоки и, в свою очередь, определяются качеством стали НЛЗ и катанки.

ММЗ относится к так называемым мини-заводам с неполным металлургическим циклом. В качестве исходного сырья используется привозной металлолом, который расплавляется в электродуговой сталеплавильной печи. На сегодняшний день завод далеко ушел от своего первоначального назначения – производства арматурного проката и катанки рядового назначения. Освоено производство катанки качественного сортамента различного назначения: для безотжигового волочения проволоки из низкоуглеродистой нелегированной стали с высокой степенью суммарной деформации – до 99 % (EN 10016, JIS G 3505, ASTM A510M и др.); для сварочной проволоки и электродов (JIS G 3503, ТУ 14-15-345-94, ТУ 14-15-346-94, DIN 17145 и др.); для изготовления метизных изделий (EN 10016, ASTM A510M и др.); для производства канатов, арматурной проволоки и металлокорда (ASTM A510M, EN 10016, JIS G 3506, ГОСТ 14959, ГОСТ 7348, ГОСТ 7372, ТУ У 14-4-470-2000 и др.), а также арматурного проката в стрежнях и бунтах различных классов прочности.

Для обеспечения производства качественного сортамента катанки завод произвел целый ряд реконструктивных мероприятий, направленных на улучшение качественных показателей производимой стали и проката [5...7]. Проектное оборудование состояло из 2-х дуговых сталеплавильных печей (ДСП), 2-х установок доводки стали (УДС), 2-х машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), комбинированного мелкосортного-проволочного стана (МСПС), участков термообработки (ТО) стрежневого и бунтового проката - линии Стелмор. В настоящее время на сталеплавильном переделе вместо УДС внедрена установка печь-ковш (УКП), позволяющая обеспечить заданный химический состав и более качественно обработать сталь перед разливкой (десульфурация, гомогенизация – усреднение по химическому составу и температуре, модифицирование и микролегирование стали). В технологический процесс производства качественных марок стали внедрена установка вакуумирования стали камерного типа (VD/VOD). Вакуумная обработка жидкой стали выполняет следующие функции: дегазацию (удаление водорода, азота, кислорода), вакуум-углеродное раскисление; удаление неметаллических включений; корректировка металла по химическому составу; десульфурацию. На МНЛЗ ввели в эксплуатацию новые конические гильзы кристаллизаторов с криволинейным профилем и многослойным износостойким покрытием, тем самым улучшили качество поверхности и геометрические параметры непрерывно-литых заготовок (НЛЗ), а также увеличили производительность МНЛЗ, добавив дополнительно 4-ю зону водяного охлаждения (ЗВО). Также внедрена установка электромагнитного перемешивания (ЭМП) с установкой катушки непосредственно в кристаллизаторе [8, 9].

Прокатное производство ММЗ в настоящее время представлено непрерывным двуниточным МСПС 320/150, реконструированным из комбинированного. Стан оснащен линиями термообработки проката: сортовая линия – секциями

водяного охлаждения, расположенными сразу после последней деформирующей клетки; проволочная линия – двустадийной линией охлаждения типа Стелмор (I-я стадия – водяное охлаждение, II-я стадия – воздушное охлаждение). Для производства высококачественного сортамента линия двустадийного охлаждения была реконструирована – установлены новые форсуночные секции водяного охлаждения и высоконапорные блоки струйного охлаждения (ВБСО), обеспечивающие широкий диапазон скоростей охлаждения ($0.15...12^{\circ}\text{C}/\text{c}$), удлинена линия транспортирования витков катанки, при этом участок, расположенный под теплоизолирующими крышками, увеличен с 40 до 120 м, а общая длина от виткообразователя до шахты виткосборника с 75 до 147 м, изменена схема управления скоростью перемещения витков катанки [10, 11].

В настоящей статье представлены научно-практические аспекты производства высокоуглеродистой катанки, сочетающей высокие уровень прочностных и пластических свойств, для изготовления стабилизированных арматурных канатов различных классов прочности ($1670...2000 \text{ Н}/\text{мм}^2$ и выше).

Постановка задачи освоения производства из рядовой шихты-металлолома на вышеописанном производственном комплексе металлопродукции ответственного назначения такой, как высокопрочная катанка для производства канатной проволоки и арматурных канатов требовала разработки и внедрения технологии, обеспечивающей соответствующие качественные показатели проката, и модернизацию установленного оборудования.

В результате исследований был выбран эффективный химический состав стали, разработаны принципы её микролегирования и модифицирования с целью снижения загрязненности стали неметаллическими включениями, увеличения пластичности наряду с достижением заданного уровня прочности, технологические режимы термомеханической обработки (ТМО) металлопроката с

формированием наилучшей микроструктуры металла, обеспечивающие, в целом, высокую технологичность переработки катанки у потребителей [12].

Нами развиты положения теории ТМО проката в потоке производства, обеспечивающие значительный упрочняющий эффект, показана роль микродобавок таких упрочняющих элементов, как ванадий и хром. Рассмотрено влияние бора не в качестве прокаливающего элемента, а как модификатора, улучшающего макростроение НЛЗ, и пластифицирующего катанку. Показано влияние этих элементов на структуру катанки и ее механические свойства. Проведены исследования микроликвационных процессов указанных элементов в стали и катанке [13...21].

Разработана и внедрена технология, обеспечивающая получение поверхностной окалины, легкоудаляемой как химическим (кислотное травление), так и механическим способами с поверхности катанки перед волочением [22].

Технологический процесс производства арматурных канатов (прядей) заключается в патентировании, удалении окалины пока еще преимущественно химическим способом (но в перспективе механическому способу удаления окалины нет альтернативы), волочении катанки в проволоку, после чего производят свивку проволоки в 3-х, 7-ми, 19-ти проволочные арматурные канаты (пряди) с одновременной стабилизацией этого каната. Стабилизация – это процесс снятия деформационных напряжений путем среднего отпуска при температуре ~ 370...390°C с противонатяжением (пластическая деформация до 1,5 %) и применением натяжных роликов. В отличие от традиционного способа производства арматурных канатов, применяемого, например, в странах СНГ, новый способ не включает операцию патентирования катанки, целью которой является сорбитизация структуры и увеличение как прочностных, так и пластических свойств катанки. В 2008 г. ОАО «Северсталь-метиз» закупило итальянскую линию для производства прядей по современной

технологической схеме, что предопределяет использование качественного сырья – сорбитизированной катанки. Имеется также опыт производства сорбитизированных арматурных канатов на Белорецком металлургическом комбинате, Магнитогорском калибровочном заводе и ОАО «СИЛУР», г. Харцызск. Очевидно, что катанка для современной технологии производства высокопрочных арматурных канатов должна иметь комплекс свойств патентированной катанки.

Основной сложностью в производстве данного вида продукции является обеспечение заданной высокой прочности исходной катанки, обусловленной высокой прочностью прядей – классы 1770, 1860, 2000 и более, при этом прочность катанки должна быть не менее 1150, 1200 и 1250 Н/мм². Так как, в основном, для производства ВСАК используется катанка крупных диаметров - 8.0 мм и выше, то проблема обеспечения заданного предела прочности в исходной катанке усложняется.

Из известных способов упрочнения стали, упрочнение фазовым выделением (дисперсионным) представляется наиболее практичным методом с точки зрения максимального использования потенциальных возможностей повышения прочности [23].

Сталь подается сравнительно простому упрочнению путем добавки углерода с образованием второй фазы (цементита). Морфология цементита изменяется в широких пределах в зависимости от температуры превращения и последующей термической обработки, и в свою очередь, определяет прочностные свойства катанки. Для высокоуглеродистой катанки, как показал опыт ее переработки, наиболее оптимальной структурой является сорбитообразный перлит, который обеспечивается либо за счет отдельного патентирования катанки у заказчика, либо за счет её интенсивного воздушного охлаждения на линиях водо-воздушного охлаждения (так называемое воздушное квазипатентирование). Вместе с тем, механизм упрочнения стали за счет повышения содержания углерода имеет

существенный недостаток – сталь с содержанием углерода более 0,80 % становится заэвтектоидной, что обуславливает выделение грубого структурно-свободного вторичного цементита по границам зерен перлита, подавление которого требует интенсивного охлаждения катанки.

Кроме того, дисперсионное упрочнение стали достигается за счет легирования стали карбидо- и нитридообразующими элементами за счет образования карбидов легирующих элементов (Mo_2C , Cr_7C_3 , Cr_{23}C_6 , VC , V_2C , V_4C_3 , WC и др.) и нитридов (NbN , Mo_2N , CrN , VN , Nb_2N , TiN и др.).

Таким образом, практическое достижение высокой прочности высокоуглеродистой катанки возможно следующими способами.

1. Интенсивное воздушное охлаждение катанки со скоростью до $25^\circ \text{C}/\text{сек}$ (для обеспечения максимально высокой доли сорбитообразного перлита в структуре катанки и подавления выпадения цементитной сетки по границам перлитных зерен) особенно важно для проработки крупных диаметров катанки.

2. Легирование стали элементами, способствующими упрочнению катанки за счет измельчения действительного зерна перлита при помощи дисперсионного твердения карбидами, карбонитридами, таких элементов как V , Cr и др.

3. Организация патентирования в потоке линии охлаждения, технически более сложный, но все же реализованный в Японии – процесс DLP: патентирование витков катанки в нагретой ванне раствора селитры или расплава свинца, установленной на линии транспортера витков.

В условиях ММЗ на существующей линии Stelmor максимальная скорость воздушного охлаждения составляет не более $10...12^\circ \text{C}/\text{с}$, а потому достижение требуемых структуры и, соответственно, уровня прочности может быть получено только при дополнительном легировании стали V и/или Cr . Механизм упрочнения стали ванадием и хромом примерно

одинаков. Эти элементы относятся к сильным карбидо- и нитридообразующим элементам. Карбиды и нитриды ванадия и хрома, располагаясь в ферритной матрице перлита в микродисперсных частицах, сдерживают движение дислокаций и упрочняют металл – это, как уже указывалось, так называемое дисперсионное твердение, упрочнение стали.

Вместе с тем, введение в сталь вышеуказанных элементов приводит к появлению негативных закалочных структур. Для ванадия и хрома характерна ликвация этих элементов в микрообъемах металла [24]. Эти явления обусловлены так называемой дендритной ликвацией. В процессе прокатки дендритное строение стали изменяется и в микроструктуре деформированной стали сохраняется структурная полосчатость (рис. 1а) и карбидная ликвация. В условиях ММЗ разливка в заготовки малого сечения усугубляет данный процесс. Таким образом, в результате ликвации данных элементов в микрообъемах металла в процессе распада аустенита после интенсивного воздушного охлаждения на линии Stelmor в локальных участках по сечению катанки создаются условия для формирования закалочных структур – образование мартенситных участков (рис. 2). Причем, как показали исследования, мартенситные участки расположены именно на месте ликвационной полосчатости (рис. 1б).

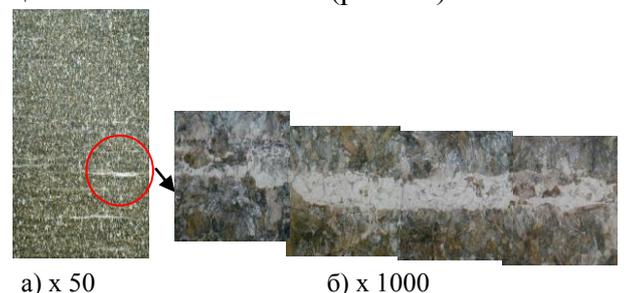


Рис. 1. Продольное сечение катанки стали марки C82D с развитой ликвационной полосчатостью в осевой зоне (а) и расположение мартенситных участков в местах ликвационных полос (б).

Наличие таких участков в перлитной структуре приводит к появлению остаточных напряжений II-го рода, в результате чего при проведении

механических испытаний на день прокатки наблюдается преждевременный разрыв образцов катанки, при котором не достигается физический предел прочности.



Рис. 2. Мартенсит в осевой зоне катанки диаметром 10 мм из стали марки С82D, $\times 1000$.

Как показали исследования, разрушения происходят именно по месту крупных мартенситных участков (рис. 3).



Рис. 3. Надрывы металла, совпадающие с мартенситными участками, в продольном сечении образца катанки, $\times 200$.

В результате физическая прочность катанки достигается только после ее вылеживания в течении нескольких дней. Очевидно, что наличие таких структур оказывает негативное влияние на технологичность катанки при ее дальнейшей переработке.

Кроме того, как уже отмечалось выше, другим проявлением дендритной ликвации в катанке является карбидная неоднородность, которая в высокоуглеродистой катанке выражается в развитии цементитной сетки (рис. 4), причем с повышением содержания углерода ее развитие увеличивается. Подавить выпадение цементитной сетки возможно либо интенсивным воздушным охлажде-

нием, либо снижением содержания углерода в стали за счет легирования другими элементами (Mn, V или Cr), что в свою очередь, как было указано выше, приводит к появлению закалочных структур.

Микрорентгеноспектральный анализ (МРСА) мартенситных участков и перлитной матрицы показал, что образование мартенсита обусловлено ликвацией Mn, Cr и V, причем коэффициенты ликвации находятся в следующих диапазонах: Cr – $k_L = 2.62...3.46$, Mn – $k_L = 1.79...2.08$, V – $k_L = 3.0...7.5$. Существующая мощность охлаждающей системы линии Stelmor не позволяет полностью подавить развитие цементита, и он проявляется в виде разорванной сетки. Известно, что грубая цементитная сетка (ССЦ) оказывает негативное влияние на дальнейшую переработку катанки, наличие же тонкой, в ряде случаев разорванной сетки, не должно оказать значительного влияния на технологичность переработки металла при волочении. Возникает вопрос, какая степень развития цементитной сетки является допустимой?



Рис. 4. Цементит по границам перлитных зерен в катанке из стали марки С82D.

Так как НД СНГ не нормируют требования к цементитной сетке, то для качественной оценки цементитной сетки на ММЗ применили методику фирмы MICHELIN для катанки под металлокорд. Эта методика классифицирует цементитную сетку 5-ю классами (баллами): А, В, С, D, Е. Приемлемым уровнем по результатам исследований на ММЗ являются классы от А до С.

Начиная с 2003 г. высокоуглеродистая катанки, произведенная из стали, микролегированной вышеуказанными элементами, поставлена на ряд европейских фирм. Особенности производства такой катанки и ее переработки в проволоку, и проволочные изделия приведены в работах [14, 15].

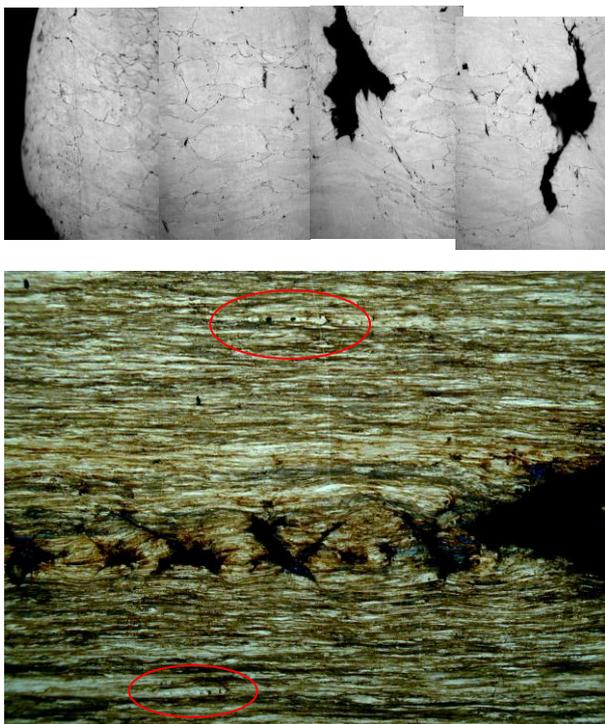


Рис. 5. Разрывы по структурно-свободному цементиту в проволоке (а) и мартенситные участки (выделены) в проволоке диаметром 5,01 мм(б).

В ходе переработки катанки периодически возникали проблемы с обрывностью проволоки. Исследования мест обрывов показало, что именно развитая цементитная сетка (класс D и E, рис. 4) являются основной причиной разрушения (рис.5 а). В местах мартенситных участков тоже наблюдаются появление мелких V-образных надрывов, но они не приводили к разрушениям проволоки (рис. 5 б). К тому же по литературным данным [25] дислокации имеют возможность переползать мартенсит. Подавление развития цементитной сетки, как было сказано выше, требует модернизации существующей линии воздушного охлаждения с целью увеличения охлаждающей способности

более чем в два раза. Мартенситные участки тоже являются концентраторами напряжений и очагами зарождения трещин, для предотвращения их образования необходимо снизить в стали ликвационные явления. Для этого необходима модернизация технологического оборудования МНЛЗ – установка усовершенствованной системы ЭМП, увеличение поперечного сечения НЛЗ, что конечно более затратно. К тому же, полезно будет и совершенствование технологии на линии Stelmor: с одной стороны увеличение скорости воздушного охлаждения, а с другой – обеспечение условий воздушного патентирования. Для этого предложен конкретный план реконструкции линии Stelmor.

Для обеспечения требуемого уровня структуры и свойств катанки, ее высокой деформируемости при волочении и свивке ВСАК на ММЗ разработали и внедрили всквозной технологический процесс следующие новшества-особенности.

1. Выплавка стали с предельным содержанием углерода на уровне эвтектоидного состава (0.80 %) марок типа С78D...С82D с целью минимизации выделения вторичного цементита по границам пластинчатого перлита.

2. Для обеспечения катанке высоких прочностных свойств с относительно невысоким содержанием углерода совместное легирование стали марганцем, хромом и ванадием. При этом массовые доли марганца должны быть в диапазоне 0.60...0.65 %, хрома – 0.15...0.20 %, ванадия – 0.04...0.06 %. Такой подход к экономному легированию обеспечивает минимизацию микроликвационных процессов и формирования крупных мартенситных участков и развитой цементитной сетки.

3. Внепечная обработка стали по схеме ДСП – УКП – Вакууматор – МНЛЗ с целью получения «чистой» стали по уровню ее загрязненностью неметаллическими включениями, удаления из стали вредных газов – водород, кислород, азот. Снижение вероятности или исключения в полной мере формирования в стальной катанке

мартенситной структуры вследствие микронапряжений, наследственно иницированных водородом.

4. Полная защита от вторичного окисления разливаемой струи стали сверху и снизу от промежуточного ковша, применение эффективных теплоизолирующих и рафинирующих засыпок на зеркало металла в этом ковше типа Nermat AF, минимизация степени перегрева металла над температурой ликвидус - на уровне не более 30°C, скорость разливки - на уровне 2.5...2.8 м/мин, использование электромагнитного перемешивания стали при разливке (6 Гц и 200 А).

5. Нагрев НЛЗ в ПШП в слабоокислительной атмосфере в условиях минимально-допустимых температур и за минимально-возможное время для снижения обезуглероживания стали и первичного окалинообразования.

6. Скорости прокатки - по утвержденной технологии.

7. Температура металла после нулевой секции охлаждения - не более 970°C, температура виткообразования - 950...970 °C, в работе от 6 до 8 БСО с максимальной скоростью обдува (6x1480 + 2x 1000 мин⁻¹), скорость транспортера витков - 0.5 м/с, теплоизолирующие крышки - открыты над БСО, остальные закрыты для получения частичного эффекта квазипатен-тирования. Таким образом обеспечивается максимальная скорость охлаждения витков катанки вентиляторным воздухом - 12...14°C/с,

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основании проведенных исследовательских работ разработана технология производства высокопрочной катанки для производства арматурных канатов из стали, микролегированной ванадием и хромом. Микролегирование вышеуказанными элементами способствует появлению в структуре катанки закалочных структур мартенсита, которые совпадают с ликвационной полосчатостью в стали. Основной причиной обрывности высокоуглеродистой катанки является не наличие мартенситных участков, а развитая

цементитная сетка (вторичный цементит), которую можно подавить только интенсивным воздушным охлаждением.

2. Решена актуальная научно-техническая задача - исследована, разработана и внедрена технология производства высокоуглеродистой катанки с эффективным уровнем механических свойств и высокой деформируемостью при волочении проволоки и свивке стабилизированных арматурных канатов без предварительной термической обработки - патентировании катанки, что снижет расходы по переделу на метизном предприятии.

ЛИТЕРАТУРА

1. СЫЧКОВ, А.Б.; ЖИГАРЕВ, М.А.; ПЕРЧАТКИН, А.В. Технологические особенности производства арматурного проката широкого назначения. - Магнитогорск: Издательский центр ГОУ ВПО «МГТУ», 2006. 499 с.

2. ПАРУСОВ, В.В.; БЕЛИТЧЕНКО, А.К.; БОГДАНОВ, Н.А.; СЫЧКОВ, А.Б.; НЕСТЕРЕНКО, А.М.; ПАРУСОВ, О.В. Термомеханическая обработка проката из непрерывнолитой заготовки малого сечения. - Запорожье: ЗГУ, 2000. 142 с.

3. БОГДАНОВ, Н.А.; КУТАКОВ, А.В.; СЫЧКОВ, А.Б.; ЖИГАРЕВ, М.А.; ПАРУСОВ, В.В.; НЕСТЕРЕНКО, А.М. О целесообразности ограничения содержания примесей цветных металлов в углеродистой катанке. - Сталь. 2000. № 1. С. 67-69.

4. СТАРОВ, Р.В.; ДЕРЕВЯНЧЕНКО, И.В.; СЫЧКОВ, А.Б.; ГАЛЬЧЕНКО, А.В.; КУЧЕРЕНКО, О.Л. Снижение содержания азота при производстве электростали. Труды VII Конгресса сталеплавильщиков. - Магнитогорск. 2003. С. 291-293.

5. БОГДАНОВ, Н.А.; СЫЧКОВ, А.Б.; САВЬЮК, А.Н. Совершенствование оборудования и технологии при производстве проката на мелкосортно-проволочном стане 320/150 Молдавского металлургического завода. - Металлург. 1995. № 1. С. 27-28.

6. ЮДИН, А.В. Молдавский металлургический завод: прошлое, настоящее,

будущее (к 25-ти летию предприятия). – Сталь. 2010. № 1. С. 2-6.

7. ПАРУСОВ, В.В.; ПРОЙДАК, Ю.С.; СЫЧКОВ, А.Б.; САВЬЮК, А.Н.; ДЫНДИКОВ, В.П. Роль науки в развитии ОАО «Молдавский металлургический завод». – Сталь. – 2010. № 1. С. 126-128.

8. ШАХОВ, С.И.; ШИФРИН, И.Н.; ДЕРЕВЯНЧЕНКО, И.В.; СЫЧКОВ, А.Б.; ГРАЧЕВ, В.Г.; СОЛОДОВНИК, Ф.С. Промышленная система ЭМП в кристаллизаторе сортовых машин непрерывного литья заготовок. – Прогрессивные процессы и оборудование металлургического производства: Сб. Череповец. 2003. С. 76-82.

9. БЕЛИТЧЕНКО, А.К.; ЧЕРНОВОЛ, А.В.; ДЕРЕВЯНЧЕНКО, И.В.; КУЧЕРЕНКО, О.Л. Освоение технологии вакуумирования стали на Молдавском металлургическом заводе. – Электрометаллургия. 2003. № 2. С. 23-28.

10. СЫЧКОВ, А.Б.; БОГДАНОВ, Н.А.; ПАРУСОВ, О.В. ПАРУСОВ, В.В.; ЖИГАРЕВ, М.А. Модернизация оборудования и совершенствование технологии для производства качественного проката в условиях Молдавского металлургического завода (ММЗ). – Металлургическая и горнорудная промышленность. 2002. № 8-9. С. 306-313.

11. САВЬЮК, А.Н.; СЫЧКОВ, А.Б.; ЖИГАРЕВ, М.А.; БЕРКОВСКИЙ, В.А.; КРУЛИК, А.И. Развитие прокатного передела в ОАО «Молдавский металлургический завод». – Сталь. – 2010. № 1. С. 60-65.

12. ПАРУСОВ, В.В.; НЕСТЕРЕНКО, А.М.; СЫЧКОВ А.Б. и др. Разработка сквозной технологии производства катанки из качественной углеродистой стали в условиях ММЗ. – Металлургическая и горнорудная промышленность. 2002. № 2. С. 52-54.

13. КУТАКОВ, А.В.; СЫЧКОВ, А.Б.; ЖИГАРЕВ, М.А. и др. Влияние микродобавок бора на механические и технологические свойства катанки. – Сталь. 2000. № 1. С. 66-67.

14. ПАРУСОВ, В.В.; СЫЧКОВ, А.Б.; ДЕРЕВЯНЧЕНКО, И.В.; ПЕРЧАТКИН,

А.В.; ПАРУСОВ, О.В.; ЖИГАРЕВ, М.А. Высокоуглеродистая катанка из стали, микролегированной ванадием. – Металлург. 2004. № 12. С. 63-67.

15. СЫЧКОВ, А.Б.; ЖИГАРЕВ, М.А.; ПЕРЧАТКИН, А.В.; БЕРКОВСКИЙ, В.А.; КРУЛИК, А.И. Высокоуглеродистая катанка из стали с повышенным содержанием хрома. – Металлург. 2006. № 4. С. 59-62.

16. Отчет о влиянии микрофизической – дендритной ликвации непрерывно-литой заготовки на структурообразование в высокоуглеродистой катанке. 07-2012-ПС-05 – Рыбница. 2005. 37 с.

17. СЫЧКОВ, А.Б.; ЖИГАРЕВ, М.А. ЖУКОВА, С.Ю. и др. Влияние дендритной ликвации непрерывнолитой заготовки на структурообразование в катанке из высокоуглеродистой стали. – Металлург. 2008. № 5. с. 32-36.

18. СЫЧКОВ, А.Б.; ЖИГАРЕВ М.А.; ЕМЕЛЮШИН, А.Н. Высокоуглеродистая катанка для производства высокопрочных арматурных канатов. В межд. Сб. научных трудов. Материаловедение и термическая обработка металлов. Под ред. А.Н. Емельюшина и Е.В. Петроченко. – Магнитогорск: МГТУ, 2009. С. 131-138.

19. СЫЧКОВ, А.Б.; ЖИГАРЕВ, М.А.; ЕМЕЛЮШИН, А.Н. Развитие технологии производства высокопрочной катанки. - В межд. Сб. научных трудов. Материаловедение и термическая обработка металлов. Под ред. А.Н. Емельюшина и Е.В. Петроченко. – Магнитогорск: МГТУ, 2009. С. 139-142.

20. СЫЧКОВ, А.Б.; ЖИГАРЕВ, М.А.; ЖУКОВА, С.Ю.; КУЧЕРЕНКО, О.Л.; РЕПИН, И.В. Внедрение технологии производства катанки для высокопрочных арматурных канатов. – Сталь. 2010. № 1. С. 77-79.

21. ДЕРЕВЯНЧЕНКО, И.В.; СЫЧКОВ, А.Б.; ЖИГАРЕВ, М.А.; ПЕРЧАТКИН, А.В.; КУЧЕРЕНКО, О.Л.; ПАРУСОВ, В.В.; ПАРУСОВ, О.В. Производство катанки качественного сортамента в условиях ОАО «Молдавский металлургический завод». – Металлургическая и горнорудная промышленность. 2010. № 1. С. 9-14.

22. ПАРУСОВ, В.В.; САВЬЮК, А.Н.; СЫЧКОВ, А.Б. и др. Исследование возможности наиболее полного удаления окалины с поверхности катанки перед волочением. – Металлург. – 2004. № 6. С. 69-72.

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

24. ЕРШОВ, Г. С.; ПОЗНЯК, Л. А. Микро-неоднородность металлов и сплавов. – М.: Металлургия, 1985. 214 с.

25. КУРДЮМОВ, Г.В.; УТЕВСКИЙ, Л.М.; ЭНТИН, Р.И. Превращения в железе и стали. - М.: Наука, 1977. 230 с.

CZU: 669.1

STRUCTURE FORMATION AND DEVELOPMENT OF ROD PRODUCTION TECHNOLOGY TO PRODUCE REINFORCED STABILIZED HIGH-STRENGTH TACKLE

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 to develop a technology of high-strength vanadium and chromium microalloyed rod production. Microalloying with the foregoing elements is conducive to the appearance in the rod structure of heat-treatment structures of martensite that coincide with the liquating foliation in steel.

Prezentat la redacție la 16.12.2010