

УДК:621.771.25:001.5

**В.В.Парусов, В.Г.Черниченко, О.В.Парусов, А.Б.Сычков,
Э.В.Парусов, С.Ю.Жукова**

РАЗВИТИЕ НАУЧНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОСНОВ ПРОИЗВОДСТВА ПРОКАТА В МОТКАХ.

Приведены качественные характеристики проката в мотках после различных схем и режимов термомеханической обработки и современные нормативные требования к такому прокату

В Институте черной металлургии в 1975 г. была основана лаборатория термообработки сортового проката и катанки, на базе которой в 1996 году создан отдел термической обработки металла для машиностроения (ОТОМ).

Главной задачей ОТОМ на протяжении многих лет является термомеханическая обработка массовых видов проката из углеродистых и экономнолегированных сталей, существенно повышающая эксплуатационные характеристики как самого проката, так и изделий из него и обеспечивающая значительную экономию металла в различных отраслях потребления.

Сотрудники ОТОМ, являясь продолжателями идей академика АН УССР Кирилла Федоровича Стародубова, 100-летие со дня рождения которого отмечалось 19-го апреля 2004 г, создают и широко реализуют в промышленности новые энерго- и материалосберегающие технологии термомеханической обработки стали. Полученные научные результаты опубликованы во многих журналах, научных сборниках, а также в монографиях.

Некоторые результаты исследований, проведенных в ОТОМ, кратко рассмотрены в данной статье.

Основными схемами упрочняющей обработки арматурного проката на непрерывных сортовых и проволочных станах является ВТМО и ВТМДО (поверхностные и центральные слои соответственно). ВТМДО подвергается также катанка и сталь для холодной объемной штамповки. При ВТМО + ВТМДО в прокате образуется структурный композит: в поверхностных слоях – отпущенный мартенсит; в центральных – продукты перлитного и/или промежуточного превращений [1]. Соотношение структур композита определяется температурой смотки проката в мотки. При ускоренном охлаждении горячекатаного проката до температур несколько ниже A_1 и последующем весьма медленном охлаждении его на воздухе процессы, происходящие в переохлажденном аустените, в большей мере соответствуют процессам при ВТМИЗО, чем ВТМДО.

Зависимость качественных характеристик проката различного назначения от технологических параметров его производства приведена ниже.

1. Арматурный прокат в мотках

Одним из массовых видов проката черных металлов является арматурный прокат. Наиболее эффективным способом повышения прочности арматурного проката является термомеханическая обработка, затраты на которую не превышают 1,0–1,5% от себестоимости горячекатаного проката [2]. При этом прокат имеет высокий комплекс пластических и вязких характеристик.

Успехи, достигнутые в металлургической промышленности за последние годы, позволяют существенно расширить возможность использования углеродистых сталей для производства арматурного проката класса А500С, в том числе и в мотках, применяемого в мировой практике для монолитно–каркасного строительства. Для реализации в условиях Украины мирового опыта по монолитно–каркасному строительству на отечественных металлургических предприятиях необходимо освоить производство арматурного проката диаметром 6–16 мм класса А500С в мотках массой ~ 2000 кг в соответствии с требованиями ДСТУ 3760, EN 10080 и других зарубежных стандартов.

Арматурный прокат в мотках диаметром 6–16 мм для строительной индустрии производится на современных непрерывных проволочных (типа 150) и мелкосортно–проволочных (типа 250/150, 320/150) станах, а также непрерывных станах устаревшей конструкции (типа 250), оборудованных установками термомеханического упрочнения, на которых прокат охлаждается со среднемассовой скоростью 250⁰С/с и более [2].

Технология производства арматурного проката в мотках на сортовой и проволочной линиях станков 250/150 и 320/150 существенно различается:

- на сортовой линии ускоренно охлажденный водой до 550–650⁰С прокат сматывается в мотки и медленно охлаждается на воздухе (ВТМО – поверхностные слои + ВТМИЗО – сердцевина);
- на проволочной линии ускоренно подохлажденный водой до 750–850⁰С прокат раскладывается на витки и подвергается интенсивному воздушному охлаждению (ВТМДО–поверхностные слои и сердцевина).

На станах старой конструкции масса мотка составляет ~ 500кг, на современных ~ 2000кг.

Зависимость прочностных характеристик (классов прочности) арматурного проката от температуры окончания ускоренного охлаждения (температуры самоотпуска) приведена на рис.1.

В последнее время наметилась тенденция значительного увеличения массы исходной заготовки (до 2,5–3 т), что значительно повышает выход годного. Так, на стане завода «Ferriere Norq» (Италия) установили сматывающее устройство фирмы «Daniele Morgardshammar», которое позволяет

получать компактные плотно навитые мотки без перекручивания проката. На стане выпускают упрочненную арматуру гладкого и периодического профиля диаметром 8–32 мм со скоростью до 30 м/с и производительностью около 100 т/ч. Масса мотка составляет 3 т [3].

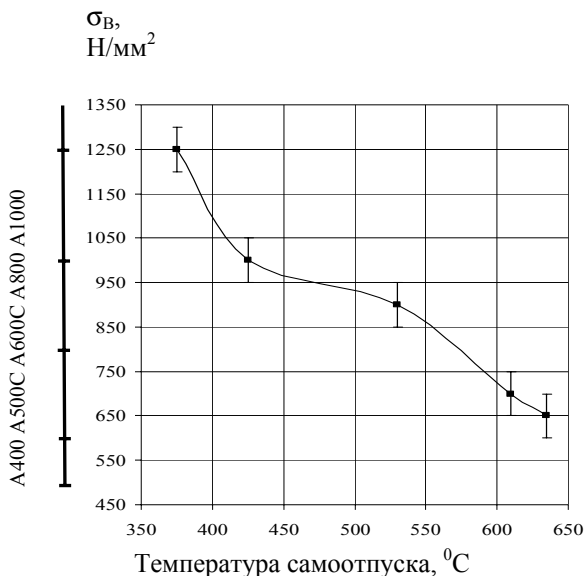


Рис.1. Зависимость прочностных характеристик арматурного проката от температуры самоотпуска

Согласно [4] совмещенный мини-комплекс: установка непрерывной разливки стали (УНРС) – проволочный стан, может обеспечить производство арматурного проката диаметром 5,5–25 мм в мотках массой 2,5–3 т.

Экономическая эффективность использования арматурного проката в мотках за счет организации безотходной переработки его у потребителя позволяет снизить расход металла на 5–7% [5]. В тоже время себестоимость производства на сортовой линии стана 250/150–6 комбината «Криворожсталь» арматурного проката диаметром ≥ 14 мм в мотках массой ~2000 кг не превышает себестоимость аналогичного проката в стержнях.

Следует отметить, что термомеханически упрочненный арматурный прокат класса А500С может заменить всю гамму проката классов от А240 (А-1) до А400 (А-III), обеспечивая лучшую технологичность, безопасность и долговечность железобетонных конструкций.

Повышение прочностных характеристик арматурного проката до уровня свойств класса А500 только путем легирования не рационально,

поскольку затраты на дополнительное (по сравнению с арматурой класса А400С) легирование не компенсируются экономией металла у потребителя, составляющей при такой замене в среднем около 10% [6, 7]. Поэтому наиболее эффективным путем достижения поставленной цели следует считать упрочняющую термомеханическую обработку арматурного проката, широко применяемую в мировой практике. В связи с этим на металлургических предприятиях проводят или уже провели реконструкцию охлаждающих устройств на прокатных станах для обеспечения требуемых режимов охлаждения. Так, производство арматурного проката класса А500 в мотках (№8 и №10) освоено после реконструкции проволочной линии стана 320/150 РУП «Белорусский металлургический завод» (БМЗ) [8], где его подвергают термомеханической обработке путем двухстадийного охлаждения (на участках водяного и воздушного охлаждения). Однако существующая технология не обеспечивает выхода стана 150 на проектную производительность при изготовлении арматуры №8 и №10 класса А500 из низколегированной стали. В связи с этим необходимо было обеспечить более глубокое охлаждение проката на первой стадии, усовершенствовав для этого оборудование линии водяного охлаждения [8]. Необходимо отметить, что замена стали 35ГС на сталь с меньшим содержанием упрочняющих элементов (С, Si, Mn) позволила сократить расход ферросплавов в среднем на 6,54; 1,45 и 6,40 кг/т соответственно.

Производство термомеханически упрочненного арматурного проката в мотках было также реализовано на мелкосортно–проволочном стане 320/150 СЗАО «Молдавский металлургический завод» (ММЗ) [9].

Отдельно следует остановиться на производстве арматуры класса А500, смятываемой в мотки массой ~ 850 кг [10] в условиях ОАО «ЗСМК» (Россия): арматурный прокат диаметром 8 мм из стали 18Г2С, микролегированной ванадием (~0,18%), после прокатки в чистой группе клетей проволочного стана 250 при температуре 800⁰С перед смоткой в мотки ускоренно охлаждался до 650⁰С.

При производстве проката окончательное формирование профиля завершается при температуре 1000–1100⁰С и скорости деформации более 1000 с⁻¹. Такие условия деформации приводят к динамической рекристаллизации аустенита, что следует из анализа структуры проката, подвергнутого закалке непосредственно за очагом деформации (последней клетью стана). Последующий рост аустенитного зерна при квазиизотермической выдержке проката, осуществляемой при температуре окончания горячей деформации или несколько ниже ее, обусловлен собирательной рекристаллизацией, проходящей как при метадинамической, так и следующей за ней статической рекристаллизацией.

Снижение температуры окончания регламентированного ускоренного охлаждения проката, подвергнутого горячей деформации, до температур, лежащих выше порога рекристаллизации аустенита, с последующей ква-

зиизотермической выдержкой уменьшают степень развития собирательной рекристаллизации. Таким образом, величина аустенитного зерна в стали тем меньше, чем ниже температура смотки проката в мотки по сравнению с температурой горячей деформации [11].

В настоящее время на проволочной и мелкосортной линиях стана 250/150–6 ОАО «Криворожсталь» осваивается производство термомеханически упрочненного арматурного проката в мотках, соответствующего требованиям классов А400С и А500С (ДСТУ 3760), 460А и 460В (BS 4449), BSt 500S (DIN 488), В 500 (EN 10080).

2. Прокат для холодной объемной штамповки

Внедрение новых прогрессивных методов холодной объемной штамповки (ХОШ) при производстве высокопрочных крепежных изделий из углеродистых и низколегированных сталей стало возможным, благодаря разработке и внедрению новых технологических процессов производства проката для ХОШ, сматываемого в мотки.

В последние годы значительно модернизировалось прокатное оборудование, вследствие чего появилась возможность сматывать прокат диаметром 5,5–16 мм и 12–52 мм в мотки массой 3т [12] и 2,6т [13] соответственно. Следует учитывать, что рост эффективности переработки подката в тяжеловесных мотках наблюдается до определенного уровня массы мотка и зависит от размера профиля.

Рассматривая качество, как совокупность свойств продукции, нельзя забывать о том, что бракование всей партии товара или ее части, перевод ее в другой сорт, исправление дефектов после первичного осмотра – все это приводит к значительным дополнительным затратам. Поэтому для получения высококачественного проката на БМЗ и Оскольском металлургическом комбинате (Россия) НЛЗ сечением 250x300 мм и 300x400 мм прокатывают на обжимном стане на заготовки более мелкого сечения – 125x125 мм и 130x130 мм. Затем контролируют качество катаных заготовок в линии дефектоскопии, после чего удаляют обнаруженные и отмеченные дефекты на обдирочно–шлифовальных станках или огневым способом.

Специалистам хорошо известна проблема качества поверхности НЛЗ и сортового проката, получаемого из них. Запороченность НЛЗ поверхностными дефектами в значительной степени определяется тщательностью подбора и качеством шлакообразующей смеси (ШОС), присаживаемой в кристаллизатор при разливке стали. Согласно [14] на БМЗ при разливке стали с содержанием углерода до 0,40% была использована ШОС «Stollberg» марки Н24/Р2–3, благодаря чему отбраковка опытного металла по поверхностным дефектам практически отсутствовала.

Комплексный показатель качества, разработанный А.Б.Стебловым [15] применительно к перекатанной НЛЗ, позволяет оценить качество продукции, но расчет этого показателя весьма трудоемок.

В 2003г. начато освоение производства проката для ХОШ на ММЗ. Технологический комплекс оборудования на этом предприятии состоит из: электросталеплавильной печи, установки внепечной обработки стали, вакууматора, системы защиты струи (СЗС) и электромагнитного перемешивания стали (ЭМП), машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), современного мелкосортно проволочного стана 320/150 с линией Стелмор для охлаждения проката.

Особенностью технологии производства проката на ММЗ является разливка стали в НЛЗ малого сечения (125x125 мм). Опыт производства и переработки проката для ХОШ из такого металла показал [16], что, благодаря меньшему размеру сечения НЛЗ по сравнению с обычно применяемыми, улучшаются условия кристаллизации стали, устраняется сегрегация химических элементов по длине заготовки, устраняются усадочные явления. Однако прокатка сопровождается меньшей степенью деформации металла, вследствие чего в готовом прокате наблюдаются остатки литой структуры [17]. Следует отметить, что в мировой практике отсутствует опыт производства проката для холодной высадки из НЛЗ малого сечения при отсутствии в составе оборудования средств контроля поверхностных дефектов заготовки и абразивной зачистки этих дефектов. Основным требованием к горячекатаному прокату для ХОШ является способность выдерживать осадку в холодном состоянии на величину деформации 66 или 75%. Согласно ГОСТ 10702–78 и ДСТУ 3684–98 – на осажённых образцах не должно быть надрывов и трещин, но по согласованию изготовителя с потребителем допускается наличие трещин глубиной не более 0,1 мм для проката диаметром до 20 мм и не более 0,2 мм для проката диаметром 20 мм и выше.

В международной практике качество поверхности осажённых образцов оценивается по специальной шкале [18], которой предусмотрено пять классов дефектов: 0; 1; 2; 3; 4; (рис.2), причем для ХОШ допускается класс дефекта не более 1, а средневзвешенное значение этого показателя (так называемый коэффициент осаживания F) должен быть в пределах 0,3–0,7, в зависимости от того, будет ли применяться при последующем переделе холодная или горячая высадка. Таким образом, без указанных выше согласований к качеству поверхности проката требования отечественных НТД соответствуют 0–му классу дефектов по эталонной шкале.

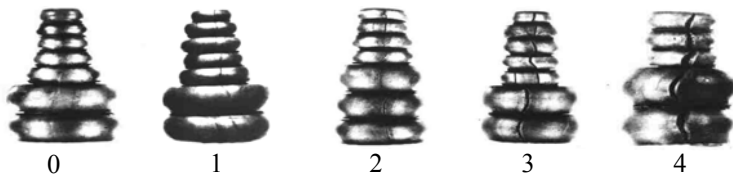


Рис.2 – Эталонная шкала классов (баллов) поверхностных дефектов на прокате, подвергнутом испытанию на холодную осадку

Статистическими исследованиями, проведенными в 2001–2002 гг., показано, что в 86% случаев катанка диаметром 5,5–14,0 мм из низкоуглеродистой стали типа SAE 1005–1022, произведенная на ММЗ по текущим заказам, соответствует требованиям осадки для группы 66 – основному

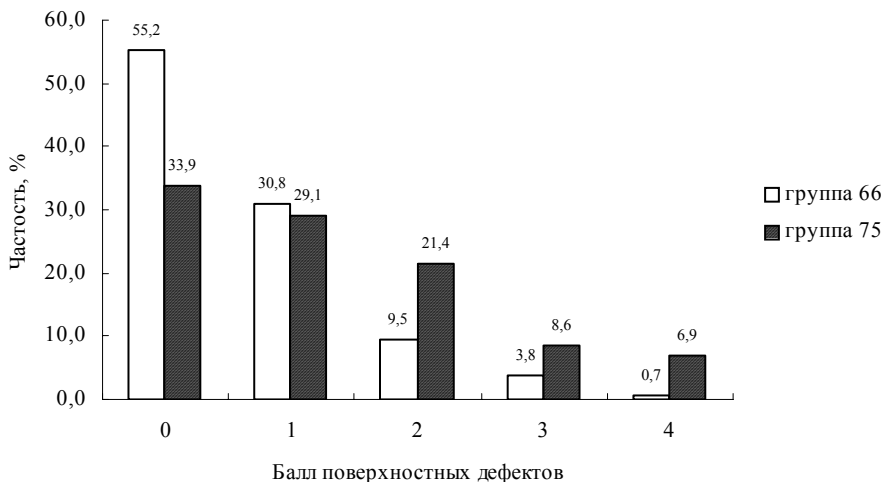


Рис.3 – Частотное распределение поверхностных дефектов по баллам на осадочных образцах катанки диаметром 5,5–14,0 мм из стали SAE 1005–1022

требованию к прокату для ХОШ (рис.3).

Расчетными методами было установлено:

- при глубине поверхностных дефектов 2,48; 1,88 и 1,49 мм на НЛЗ сечением 125x125 мм в готовом прокате диаметром 6,5; 9 и 12 мм соответственно глубина дефектов не превышает 0,1 мм;

- на калиброванном прокате глубина поверхностных дефектов, нормируемых ГОСТ 11051 для групп поверхности Б и В (качества h10 и h11) обеспечивается при степени деформации горячекатаного проката 19%.

Учитывая перечисленные выше аспекты, в условиях ММЗ разработана и внедрена технология производства проката для ХОШ из стали 20Г2Р диаметром 5,5–14 мм из незачищенной НЛЗ малого сечения (125x125 мм), что не имеет аналогов в мировой практике.

В связи с полученными результатами представляется целесообразным проанализировать качество поверхности горячекатаной заготовки из металла для ХОШ, кристаллизующегося в изложницах (ОАО «Криворож-сталь»).

Так, при оценке качества горячекатаной заготовки сечением 150x150 мм установлено:

–из 783 заготовок (12 плавок) кипящей стали, только 4,3% заготовок могут быть отнесены к бездефектным; 65,1% заготовок имели дефекты глубиной 2,5...7,5 мм и 8,3% – свыше 7,5 мм. При выборочной зачистке заготовок с глубиной поверхностных дефектов 2,5–7,5 мм, учитывая, что допустимая глубина дефектов на заготовках из металла для ХОШ равна 6,0 мм, реальный выход качественной заготовки может быть оценен в 80–85%.

–из 767 заготовок (12 плавок) спокойной стали получено лишь – 0,7% бездефектных заготовок, а выход заготовок с максимальной глубиной дефектов до 1,0 мм составил 77,3%. Таким образом, реальный выход качественной заготовки из спокойной стали может быть оценен на том же уровне, что и у кипящих сталей – 80–85%.

Приведенные данные еще раз свидетельствуют о целесообразности оценки качества поверхности осаженных образцов из проката для ХОШ по указанной выше эталонной шкале.

Помимо увеличения производительности прокатного оборудования и уменьшения отходов металла при переработке проката для ХОШ в тяжеловесных мотках необходимо отметить повышение точности размеров профиля по длине раската.

В настоящее время в Украине и других странах СНГ освоено производство проката для ХОШ из борсодержащих сталей, который используется для изготовления высокопрочного крепежа [19,20]. Прокат из борсодержащих сталей соответствует требованиям ISO 4954 (Евросоюз), ДСТУ 3684–98 (Украина), ТС/ГО–02–2003 (Молдова) и др. нормативным документам.

3. Катанка различного назначения

Необходимость повышения конкурентоспособности катанки широкого марочного сортамента обуславливает разработку и внедрение новых высокоэффективных технологических процессов ее производства. Так, в последнее десятилетие резко возрос спрос на катанку различного назначения с низким содержанием поверхностной окалины, легко удаляемой как механическим, так и химическим способами, и повышенной деформируемостью при волочении.

Для получения катанки повышенной деформируемости (прямого волочения до диаметра ~ 0,5–0,6 мм без умягчающей термической обработки, а также кордовой проволоки диаметром 0,15–0,265 мм) использовали пластифицирующее влияние микродобавок бора, который при традиционных схемах микролегирования используется для повышения прокаливаемости стали, т.е. как упрочнитель.

3.1. Катанка прямого волочения из низкоуглеродистой стали

Технология производства низкоуглеродистой катанки прямого волочения из НЛЗ сечением 125x125 мм разработана в условиях ММЗ и предусматривает следующее:

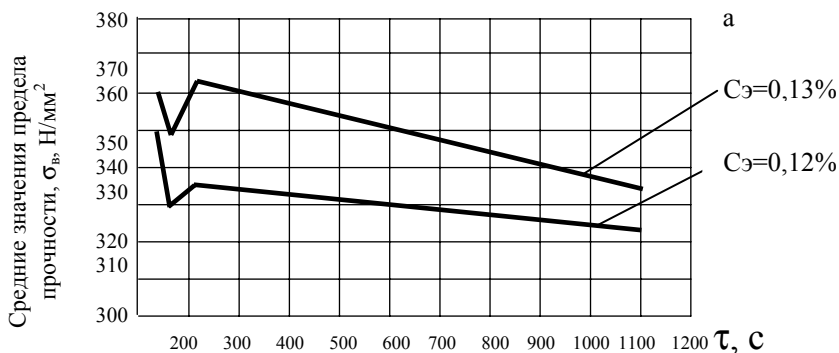
- модифицирование электростали кальцием (до 0,0025%) и микролегированием бором (до 0,010%) с обеспечением отношения $B/N \approx 0,8$;
- применение основных футеровок сталь–ковша и промковша;
- полная или частичная защита разливаемой струи металла от вторичного окисления;
- температура раскатов перед проволочным блоком после водяного охлаждения в нулевой секции – не более $950-970^{\circ}\text{C}$;
- температура виткообразования – $940-970^{\circ}\text{C}$;
- скорость движения витков катанки на роликовом транспорте – не более 0,3–0,4 м/с.

Установлено, что при наличии в твердом растворе только «химически нерастворимого» бора в виде BN достигается высокая степень пластификации стали исследованных марок по сравнению с аналогичными сталями без добавок бора: предел прочности снижается на 30–55 Н/мм²; размер действительного зерна увеличивается на 1,5–2 номера; снижается количество и размеры структурно–свободного цементита. Такой эффект достигается при условии, что низкоуглеродистая катанка подвергается разупрочняющей термомеханической обработке [20].

На рис.4 приведена зависимость механических характеристик низкоуглеродистой катанки от углеродного эквивалента стали и параметров воздушного охлаждения на линии Стелмор.

Таким образом, показано, что катанка из спокойной стали марок SAE 1005, C4D и C9D (ASTM A 510M; EN10016) успешно конкурируют с катанкой из кипящих сталей аналогичного состава по уровню пластичности [21]. Такой металл способен к прямому волочению с диаметра 5,5 в проволоку диаметром 0,5 мм ($\varepsilon_{\Sigma} = 99,2\%$).

Для прогнозирования механических свойств и управления технологическим процессом производства катанки из низкоуглеродистой стали марок SAE 1005–1022 была разработана математическая модель, параметры которой представлена в табл.1.



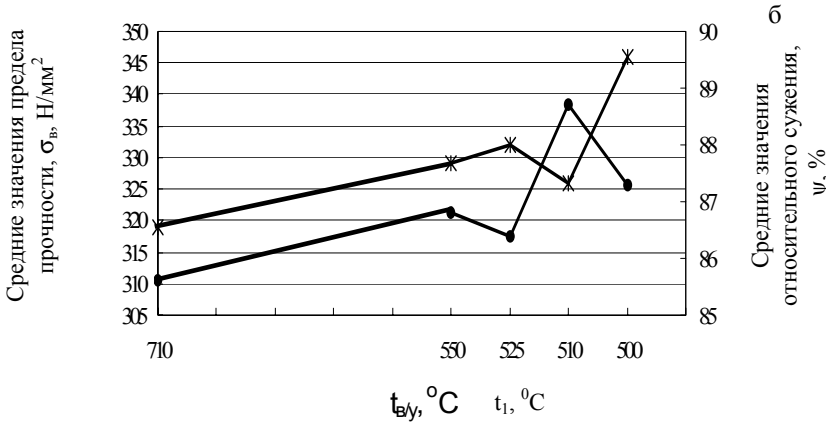


Рис. 4 – Зависимость средних значений предела прочности и относительного сужения катанки с различным углеродным эквивалентом (Сэ) от времени термостатирования витков под теплоизолирующими крышками (а) и температуры металла после блока струйного охлаждения (БСО) (б): τ – время термостатирования под теплоизолирующими крышками; t_1 – температура металла на линии Стелмор после БСО

Таблица 1 – Параметры математической модели, связывающей химический состав и технологические факторы с механическими характеристиками катанки из низкоуглеродистой стали

Механические характеристики	Коэффициенты при факторах (числитель), доля их влияния (знаменатель, %) и статистические критерии адекватности реальному процессу										
	V_0	$V_1(\text{Cэ})$	$V_2(\text{B})$	$V_3(t_{в/у})$	$V_4(d)$	$V_5(\tau)$	R^2	R	$S_{\text{ост.}}$	F	n
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\sigma_{в}$, Н/мм ²	384	477/57	-3289/8	-0.061/25	-1.223/3	-0.014/4	0.98	0.99	0.13	1303.7	109
$\sigma_{т}$, Н/мм ²	375	261/26	-4158/9	-0.077/27	-12.3/29	-0.028/7	0.85	0.92	0.38	139.3	109
δ_5 , %	47.9	-13.2/30	107.2/5	-0.0069/55	-0.106/5	0.0004/2	0.61	0.78	0.62	37.6	109
Ψ , %	111.9	-15.5/9	-178.9/2	-0.021/46	-2.58/38	0.0014/2	0.58	0.76	0.65	32.4	109

• ПРИМЕЧАНИЕ: Символы факторов: Сэ – углеродный эквивалент, $\text{Cэ} = \text{C} + \text{Mn}/5 + \text{Si}/7 + (\text{Cr} + \text{Ni} + \text{Cu})/12$, %; В – содержание бора общего, %; $t_{в/у}$ – температура металла на виткоукладчике, $^\circ\text{C}$; d – номинальный диаметр катанки, мм; τ – время нахождения металла под теплоизолирующими крышками, с; $\tau = \sum L_i/V_i$, где L_i – длина i-ой группы секций роликового транспортера, м; V_i – скорость i-ой группы секций транспортера, м/с.

Разработанная модель имеет высокие статистические показатели (R , $S_{\text{ост}}$, F) адекватности реальному процессу. Наиболее значимо влияют на механические свойства низкоуглеродистой катанки химический состав стали, температура виткообразования и диаметр катанки. Менее значимо влияние времени охлаждения и содержания бора, что объясняется незначительным колебанием этих параметров при принятой технологии производства низкоуглеродистой катанки прямого волочения. Разработанная модель используется для расчета механических свойств низкоуглеродистой катанки в тех случаях, когда на линии Стелмор отключена система обдува воздухом витков катанки.

Низкоуглеродистая катанка прямого волочения, подвергнутая охлаждению на линии Стелмор по разработанному режиму имеет удельную массу окалины на поверхность в пределах 8–10 кг/т.

Для упрощения определения удельной массы окалины на катанке нами разработана методика, согласно которой металлографически определяется толщина слоя окислов на поверхности катанки, а затем по математическим формулам или графическим зависимостям – удельная масса окалины [22].

Применение полученных результатов в условиях меткомбината «Криворожсталь» также подтвердило возможность производства катанки повышенной деформируемости из крупнотоннажных слитков стали SAE 1005–1008 [23].

3.2. Катанка из низкоуглеродистой кремнемарганцевой стали для сварочной проволоки

Катанка прямого волочения и повышенной деформируемости для сварочной проволоки производится соответственно из стали марок SG 2, SG 3 (DIN 440) и Св–08Г2С (ГОСТ 2246, ТУ У 14–4–495–2000), табл.2.

Таблица 2 – Химический состав катанки для сварочной проволоки

Марка стали	Массовая доля химических элементов*, %									
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Al	Ti+Zr
SG 2	0,07	0,40–0,70	0,90–1,40	0,025	0,030	–	–	0,50	0,05–0,15	Ti:0,05–0,15 Zr:0,02–0,12
SG 3	0,06–0,15	0,45–0,75	0,90–1,40	0,025	0,035	–	–	0,50	–	–
Св–08ГС	0,10	0,60–0,85	1,40–1,70	0,030	0,025	0,20	0,25	0,25	–	–
Св–08Г2С	0,05–0,11	0,70–0,95	1,80–2,10	0,030	0,025	0,20	0,25	0,25	0,25	–

* – Единичные значения в таблице являются максимальными значениями

Основные особенности микрولةгирования стали и производства катанки сварочного назначения являются такими же, как для низкоуглеродистой стали и произведенной из нее катанки прямого волочения. Отли-

чительные признаки имеет лишь технология воздушного охлаждения витков катанки на линии Стелмор: скорость транспортирования витков уменьшена до 0,09–0,12 м/с, что увеличило время выдержки катанки под теплоизолирующими крышками до 1000–1380с. Последнее обусловлено необходимостью сведения к минимуму образование бейни-то–мартенситных структур в катанке сварочного назначения.

Катанка сварочного назначения, охлажденная на линии Стелмор при указанных выше режимах работы роликового транспортера имеет на поверхности не более 6 кг/т окалины.

При производстве катанки диам. 5,5 мм сварочного назначения из НЛЗ сечением 125x125 мм необходимо учитывать влияние дендритной и зональной ликвации в стали [22].

В связи с этим для формирования качественной макроструктуры и минимизации ликвационных явлений в НЛЗ и катанке наиболее эффективны методы разливки стали с обеспечением максимального развития зоны равноосных кристаллов и подавления образования столбчатых кристаллов. При этом наиболее эффективны следующие методы:

- электромагнитное перемешивание (ЭМП) разливаемой стали;
- виброимпульсное воздействие на кристаллизующийся слиток;
- методы механического и термического обжата НЛЗ с целью снижения развития ликвационных процессов;
- введение в кристаллизатор центральной затравки – проволоки из стали того же состава, что и разливаемый металл, с целью формирования второго направления кристаллизации и получения более равноосной структуры без ликвационного пятна в центре заготовки.

В условиях ММЗ исследована ликвация химических элементов в НЛЗ, раскатах и катанке. Изучена эффективность системы ЭМП конструкции ВНИИМЕТМАШ, в которой силовая катушка максимально приближена к разливаемому металлу (расположена непосредственно вокруг медной гильзы), что увеличивает ее эффективность по сравнению с системой ЭМП, у которой катушка располагается вокруг кристаллизатора. Результаты исследований показали следующее (рис.5):

–в НЛЗ и катанке имеются соответственно участки и остатки дендритного строения, что обуславливает наличие ликвационных полосок, «шнуров» и структурной полосчатости, которые выявляются и в проволоке. Основными ликвидирующими элементами являются С, Mn, и Si [24];

–эффективность действия ЭМП снижается при увеличении степени перегрева металла над температурой ликвидус.

Переработка катанки сварочного назначения в условиях ОАО «Межгосметиз–Мценск» показала, что технологичность катанки–проволоки из стали Св–08ГС, SG 2 и SG 3 практически одинакова и позволяет производить путем прямого волочения проволоку диаметром ~ 1,0 мм [23].

Технологическая пластичность катанки–проволоки из стали Св–08Г2С не обеспечивает прямого волочения в проволоку диаметром 1

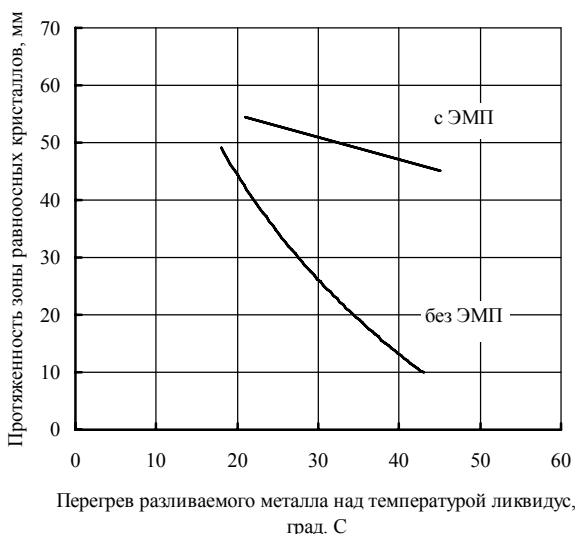


Рис.5 – Зависимость средней протяженности зоны равноосных кристаллов в НЛЗ от величины перегрева разливается металла над температурой ликвидус мм и менее из–за наличия в структуре бейнито–мартенситных участков, микротвердость которых достигает HV 750 при микротвердости матричной структуры в пределах HV 300 – 450.

Как показано в [24], возле бейнито–мартенситных участков в проволоке из стали Св–08Г2С происходит образование трещин, вследствие чего резко снижается технологическая пластичность, и волочение проволоки на диаметры менее 2,2 мм сопровождается повышенной обрывностью.

Таким образом, для обеспечения прямого волочения катанки диаметром 5,5 мм из стали Св–08Г2С в проволоку диаметром менее 1,0 мм требуется постановка и проведение дополнительных исследований на сталеплавильном и прокатном переделах.

Производство катанки сварочного назначения для прямого волочения, а также повышенной деформируемости, освоено в условиях ММЗ.

3.3. Катанка из высокоуглеродистой стали

Высокоуглеродистая катанка используется для производства проволоки для подъемных и трансмиссионных канатов, пружин, проволоочной арматуры и арматурных пряжей, оплеток рукавов высокого давления, металлокорда.

Разработанная технология производства качественной высокоуглеродистой катанки из НЛЗ сечением 125x125 мм предусматривает:

- микролегирование стали бором и модифицирование кальцием;
- применение основных футеровок сталь-ковша и промковша;
- полная защита разливаемой струи от вторичного окисления;
- ЭМП металла в кристаллизаторе;
- ограниченную скорость непрерывной разливки стали (≤ 3 м/мин);
- перегрев стали над температурой ликвидус не более 30°C ;
- скоростной нагрев (в течение 2–2,5 ч) в печи с шагающим подом до $1180\text{--}1220^{\circ}\text{C}$;
- температура раскатов перед проволочным блоком – не более $950\text{--}970^{\circ}\text{C}$, температура виткообразования – $850\text{--}890^{\circ}\text{C}$;
- скорость роликового транспортера витков – не менее 0,5 м/с;
- время обдува витков вентиляторным воздухом – не менее 50с.

Требования к химическому составу углеродистой стали являются одним из важнейших показателей качества катанки, определяющих уровень ее физико-механических и технологических свойств, а также эксплуатационных характеристик. В связи с этим в разработанных и внедренных на ММЗ технических условиях ТУ У 14-4-470-2000 «Катанка сорбитизированная для металлокорда» предусмотрены следующие колебания (размах вариации) химических элементов в пределах марочного состава стали 70-85 КРД, которые приведены ниже в сравнении с другими нормативными документами на аналогичную металлопродукцию:

- предельное изменение содержания углерода для сталей марок 70-85 КРД составляет 0,04%; для стали 70 КЧЛ по ТУ РБ 04778771.039-99, сталей 70 и 80 по спецификации «Пирелли», стали 70 по спецификации «Бекарт» это изменение равно соответственно, 0,05; 0,05; 0,04; 0,07%;

- предельное изменение содержания марганца несколько превышено (0,20%) по сравнению с аналогичным изменением в спецификациях «Пирелли» и «Бекарт» (0,12 – 0,16%), но ниже (0,3%);

- максимальное содержание кремния для сталей марок 70 – 85 КРД – по ТУ У 14-4-470-2000 ниже, чем в выбранных для сравнительного анализа сталях по ТУ РБ 04778771.039-99 и по спецификациям «Пирелли» и «Бекарт»; предельное изменение содержания кремния для сталей марок 70 – 85 КРД является довольно низким – 0,10% (ТУ У 14-4-470-2000) и 0,15% (спецификация «Бекарт»).

В [25] показано, что повышение предельного изменения содержания углерода и марганца в наибольшей степени увеличивает разброс механических свойств изготавливаемой из неё катанки. Содержание фосфора и серы, а также их суммарная массовая доля в углеродистой стали по ТУ У 14-4-470-2000, в основном, ниже по сравнению с аналогичными показателями по ТУ РБ 04778771.039-99 и по спецификациям «Пирелли» и «Бекарт».

Для анализируемых НТД и спецификаций содержание азота имеет близкие значения за исключением несколько завышенного (до 0,010%) для стали 70 по спецификации «Пирелли». При близких содержаниях хрома и никеля сталь марок 70 – 85 КРД по ТУ У 14–4–470–2000 имеет более высокое содержание меди (до 0,20%) по сравнению со сталями марки 70 КЧЛ (ТУ РБ 04778771.039–99 – до 0,15%) и марки 70 (спецификации «Пирелли» N.02.8.005 и «Бекарт» GS – 02–002 – до 0,15 и 0,10% соответственно) – сталь марки 80 по спецификации «Пирелли» N.02.8.002 имеет очень низкое содержание хрома, никеля и меди – по 0,05% каждого. Стремление к снижению содержания хрома, никеля и меди в углеродистой стали основывается на том [26], что эти элементы ухудшают структуру патентированной заготовки: образующиеся вследствие повышенной устойчивости аустенита мартенситно–бейнитные участки резко снижают технологическую пластичность проволоки. Между тем приведенными в [27,28] данными показано, что хром и никель в количестве от 0,15 до 0,20% каждого не оказывают существенного влияния на повышение устойчивости аустенита, а увеличение содержания меди от 0,04 до 0,45% увеличивает длительность распада аустенита всего на 1с. Негативное влияние меди, связанное с развитием краснеломкости стали, может проявляться только при больших концентрациях (более 0,3 – 0,5%) [29]. В связи с этим представляется допустимым увеличение содержания меди в сталях марок 70–85 КРД до 0,20% при пониженных содержаниях хрома (до 0,10%) и никеля (до 0,13%), предусмотренное ТУ У 14–4–470–2000. Сушмарная массовая доля этих элементов при этом не должна превышать 0,3% (табл.1)

Проведенный в [30] кристаллографический анализ показал, что введение в сталь бора способствует повышению предельной растворимости меди в α -Fe (феррите) и предотвращает опасность ее выделения в виде включений, существенно снижающих пластичность металла [29]. В связи с этим в сталь катанки по ТУ У 14–4–470–2000 внутризаводским техническим регламентом ММЗ предусмотрен ввод бора. Эффективность введения в углеродистую сталь бора проявляется также в повышении пластических и технологических свойств произведенной из такой стали катанки–проволоки. [31,27,30].

Из анализа требования к механическим характеристикам сравниваемых НТД и спецификаций следует, что нормы по временному сопротивлению разрыву в ТУ У 14–4–470–2000 практически соответствуют значениям, регламентируемым в ТУ РБ 04778771.039–99 и спецификациях «Пирелли» и «Бекарт». Однако нормы по пластическим характеристикам при этом являются более низкими. При вылеживании в течение около 1 – 4 суток пластические свойства катанки в результате выделения водорода и релаксации внутренних напряжений существенно повышаются [25] и

достигают значений, регламентируемых ТУ РБ 04778771.039–99 и спецификациями «Пирелли» и «Бекарт».

Вакуумирование стали состава по ТУ У 14–4–470–2000 показало, что катанка для металлокорда в этом случае имеет высокий уровень пластических свойств ($\delta_{10} \geq 11\%$, $\psi \geq 35\%$) непосредственно после двухстадийного охлаждения на линии Стелмор стана 320/150, т.е. без дополнительного вылеживания. А после вылеживания значения относительного сужения с 35 – 40 % увеличиваются до 45–55 %.

Требования к подсадочной ликвации в анализируемых НТД и спецификациях практически одинаковые. То же можно сказать и о требованиях, касающемся количества сорбитообразного перлита, поскольку более высокое значение этого показателя в спецификациях «Пирелли» и «Бекарт» связано с применением при его определении меньшего (в 2 раза) увеличения микроскопа. Следует отметить, что в отличие от спецификаций «Пирелли» и «Бекарт» размер действительного (перлитного) зерна в ТУ У 14–4–470–2000 и ТУ РБ 04778771.039–99 не нормируется.

Средняя глубина обезуглероженного слоя в катанке по ТУ У 14–4–470–2000 не должна превышать 1,5% при максимально допустимой глубине не более 2,0%. Аналогичные нормы предусмотрены ТУ РБ 04778771.039–99. По спецификации «Пирелли» средняя глубина обезуглероженного слоя по специальной шкале – не более 1,5 балла, а для отдельного сектора – не более 2,5 балла. Максимально допустимая глубина обезуглероженного слоя по спецификации «Пирелли» – 1,8%, а по спецификации «Бекарт» – 2,2%. Максимальный балл неметаллических включений (НВ) в катанке по ТУ У 14–4–470–2000 должен быть не более 2-го балла по ГОСТ 1778 для каждого типа включений; максимально допустимая толщина недеформируемых НВ – 12 мкм, а деформируемых – 17 мкм. В ТУ РБ 04778771.039–99 допустимая глубина толщины недеформируемых и деформируемых НВ несколько выше и составляет соответственно 25 и 30 мкм.

Наиболее полный перечень требований по загрязненности углеродистой стали НВ, позволяющий прогнозировать обрывность изготавливаемой из этой стали кордовой проволоки при волочении, разработан фирмой «Пирелли». Методика оценки загрязненности стали НВ по спецификации «Пирелли» предусматривает анализ химического состава наиболее опасных в плане обрывности оксидных НВ с помощью микроанализатора на растровом электронном микроскопе. Данные по составу НВ вносятся в концентрационный треугольник Пирелли – тройную диаграмму $Al_2O_3 - SiO_2 - (CaO - MgO - MnO)$, разделенный в зависимости от состава НВ на три области – «А», «В», «С». Область «С» отвечает участку диаграммы с содержанием Al_2O_3 более 50%, а области «А» и «В» – участкам с содержанием Al_2O_3 , меньшим 50%. При наличии в стали НВ с составами, отвечающими области «С», возрастает возможность увеличения обрывности

проволоки при волочении и свивке металлокорда. Допустимая максимальная плотность и толщина НВ, состав которых отвечает области «С» – не более $20 - 40 \text{ см}^{-2}$ и 10 мкм соответственно. Максимальный размер НВ, относящихся к областям «А» и «В» – не более 30 мкм . Максимальная плотность НВ размером $\geq 1 \text{ мкм}$ в областях «А» и «В» треугольника Пирелли должна составлять $1000 - 1800 \text{ см}^{-2}$.

Наиболее жесткие требования предъявляются к нитридам титана – они должны отсутствовать. В отдельных случаях допускаются нитриды титана минимальных размеров, не препятствующих переработке материала.

Приведенные в НТД и спецификациях допустимые нормы по толщине НВ устанавливают на основании статистической обработки данных по обрывности проволоки при волочении и свивке в металлокорд. Расчетные значения толщины НВ в месте разрыва проволоки определяются прочностными характеристиками бездефектной проволоки и проволоки, содержащей НВ.

Проведенными расчетами установлено [31], что максимально допустимая толщина единичных недеформируемых НВ в катанке для производства кордовой проволоки диаметром $0,15 \text{ мм}$ составляет $\leq 31 \text{ мкм}$, а согласно спецификациям «Пирелли» в полях «А» и «В» треугольника Пирелли толщина единичных НВ не должна превышать 30 мкм .

Применительно к окалине, образующейся на поверхности катанки, в спецификациях «Пирелли» и «Бекарт» регламентируются соответственно следующие требования:

- средний весовой процент окалины – не более $0,4\%$ (4 кг/т);
- средний весовой процент окалины – не более $0,7\%$ (7 кг/т);
- отношение $\text{FeO/Fe}_3\text{O}_4$. – на уровне $2-4$;
- наличие Fe_2O_3 – только в виде следов;
- наличие Fe_3O_4 на поверхности металлоосновы не допускается.

Хорошее отслоение окалины от поверхности катанки при механическом способе удаления обеспечивается при толщине слоя окалины, равном $10-14 \text{ мкм}$, что соответствует ее количеству $0,45-0,70\%$ ($4,5-7 \text{ кг/т}$). Таким образом, весовая норма окалины по спецификации «Бекарт» ($0,7\%-7 \text{ кг/т}$) в большей мере отражает связь с ее толщиной, рекомендуемой для механического удаления ($10-14 \text{ мкм}$), чем весовая норма по спецификации «Пирелли». Требования к содержанию окалины на катанке в НТД ММЗ и БМЗ не приводятся.

На ММЗ освоена также технология производства катанки для производства подъемных и трансмиссионных канатов, пружин, проволочной арматуры и арматурных пряжей, качественные показатели которой нормируются ТУ У 27.1-4-521-2002 «Катанка стальная канатная из углеродистой стали» и ТУ У 27.1-4-519-2002 «Катанка из качественной углеродистой стали».

1. *Термомеханическая* обработка бунтового проката / В.В.Парусов и др. // В кн. Черная металлургия. Наука – технология – производство.–М.: Металлургия, 1989.–С.311–317.
2. *Арматурный* прокат для железобетонных конструкций и изделий: Справочное пособие // Кривой Рог: СП «Мира», 2003. – 115с.
3. *Производство* сортового проката. // ОАО «Черметинформация». Новости черной металлургии за рубежом. – 2003. –№1. – С.113.
4. *Глуховский Е.С.* Новые технологические решения в проектах сортопрокатных цехов. // Сталь.–2001.–№ 2.–С.28–31.
5. *Натапов А.С.* Разработка конструкций и внедрение прогрессивных технологических схем производства эффективных армирующих профилей, обеспечивающих снижение расхода металла в строительстве // Бюллетень НТИ. Черная металлургия.–1987. №19.–С.8–9.
6. *Мадатян С.А.* Общие тенденции производства и применения обычной и напряженной арматуры // Бетон и железобетон.–1997.–№ 1.–С.2–5.
7. *Эффективные* виды арматуры / С.А. Мадатян, В.Т. Черненко, В.А. Брагинский // Бетон и железобетон.–1988.–№ 9.–С.21–23.
8. *Опробование* производства арматурной стали класса А500 в бухтах / А.Н.Бондаренко, В.И.Щербаков, Г.А.Курбатов//Сталь.–2002.–№ 10.–С.60–61.
9. *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: Запорожский государственный университет, 2000. – 143 с.
10. *Производство* бунтовой арматуры класса А500С в условиях ОАО «ЗСМК»/ А.Б.Юрьев, В.А. Чинокалов, О.Ю. Ефимов, И.А. Михайленко // Сб.н.трудов: Строительство, материаловедение, машиностроение–Днепропетровск. РИА «Днепр–VAL».–2004.–Вып.26.–Ч.1.–С.297–301.
11. *Металлофизика* / Ю.И. Пилипченко, В.В. Парусов, И.Г. Бочков. // 1977.– Вып.68.–С.120–127.
12. *Производство* сортового проката. // ОАО «Черметинформация». Новости черной металлургии за рубежом. – 2003. –№3 – С.101.
13. *Производство* сортового проката. // ОАО «Черметинформация». Новости черной металлургии за рубежом. – 2002. –№3 – С.117.
14. *БМЗ и VGH–GMDH: 10 лет вместе* / В. Эндерс, В. Гартем, В. Пишкин, В.Тищенко // Международная конференция: Металлургия XXI века.–Жлобин: Белорусский мет.завод, 2004.
15. *Вероятностный* подход к оценке качества металлопродукции / А.Б. Стеблов, Д.В. Грищенко // Международная конференция: Металлургия XXI века. – Жлобин: Белорусский мет.завод, 2004.–С.35–38.
16. *Оценка* соответствия качества катанки Молдавского металлургического завода требованиям к прокату для холодной высадки / В.В. Парусов, И.В.Деревянченко и др. // Сб.Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии.–Днепропетровск: «ВІЗІОН».–2003.–Вып.6.–С.211–214.
17. *Совершенствование* технологии производства арматурной проволоки из непрерывнолитой заготовки. / В.В. Парусов, В.А. Олейник, С.Л. Свечников и др. // Сталь.–1992.–№11.–С.63–67.

18. *Шифферль Х.А.* Катанка из непрерывнолитой заготовки // Черные металлы.–1986.–№7–С.53–58.
19. *Освоение* производства проката для холодной высадки из стали 20Г2Р на меткомбинате «Криворожсталь». / В.В. Парусов, В.Г. Черниченко, О.В. Парусов и др. // *Металлургическая и горнорудная промышленность.*–2004.–№2. – С.71–74.
20. *Новая технология* производства проката для холодной объемной штамповки из борсодержащей стали / В.В. Парусов, В.Г. Черниченко, О.В. Парусов и др. // *Сб. Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии.* – Днепропетровск: «ВІЗІОН».–2004.–Вып.7.–С.300–311.
21. *Разупрочняющая* термомеханическая обработка проката из углеродистой стали / В.В. Парусов, А.Б. Сычков, В.А. Луценко и др. // *Металлургическая и горнорудная промышленность.*–2003.–№6.–С.54–56.
22. *Взаимосвязь* толщины и удельной массы окалины на поверхности высокоуглеродистой катанки / В.В. Парусов, Э.В. Парусов, И.Н. Чуйко и др. // *Сб.н.трудов: Строительство, материаловедение, машиностроение.* – Днепропетровск: –2004.–Вып.27.–Ч.2.–С.26–29.
23. *Освоение* производства катанки стандарта SAE на комбинате «Криворожсталь» / В.В. Парусов, В.А. Луценко, В.Г. Черниченко и др. // *Сб.Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии.* – Киев: Наукова думка. –2002.–Вып.5.–С.179–182.
24. *Металлургические* факторы, определяющие технологическую пластичность при волочении катанки из кремнемарганцевых сталей / В.В. Парусов, А.Б.Сычков, С.Ю. Жукова и др. // *Сб.Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии.*–Днепропетровск: «ВІЗІОН».–2004. – Вып.7. – С.332–330.
25. *Совершенствование* технологии производства катанки на проволочном стане 150–1 меткомбината «Криворожсталь» / В.В. Парусов, В.А. Луценко, В.И.Биба и др. // *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии:* –Киев: Наукова думка.–2001.–Вып.4.–С.157–160.
26. *Белалов Х.Н.* Формирование свойств канатной проволоки. // *Стальные канаты:* Науч.тр.Одесса: Астропринт, 2001.–С.105–116.
27. *Влияние* примесных элементов на качество углеродистой катанки. В.В.Парусов, А.И. Виллип, А.Б. Сычков // *Сталь.*–2002.–№12.–С.53–55.
28. *О целесообразности* ограничения содержания примесей цветных металлов в углеродистой катанке / Н.А. Богданов, А.В. Кутаков, А.Б. Сычков и др. // *Сталь.*–2000.–№1.–С.67–69.
29. *Медь* в черных металлах. / Под.ред.И.Л.Мея и М.М.Шетки. // *Пер. с англ.–М: Металлургия, 1988.–312с.*
30. *Разработка* научных основ и освоение сквозной технологии производства катанки из углеродистой стали на Молдавском металлургическом заводе. / В.В. Парусов, А.М. Нестеренко, А.Б. Сычков и др. // *Металлургическая и горнорудная промышленность.*–2002.–№8–9.–С.302–306.
31. *Катанка* Молдавского металлургического завода для производства металлокорда / В.В. Парусов, А.М. Нестеренко, А.Б. Сычков и др. // *Стальные канаты:* Науч.тр. Одесса: Астропринт, 2001.–С.99–105.