

**В.В.Парусов^{*}, В.Г.Черниченко^{*}, О.В.Парусов^{*}, А.Б.Сычков^{**},
И.В.Деревянченко^{**}.**

НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ПРОКАТА ДЛЯ ХОЛОДНОЙ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ ИЗ БОРСОДЕРЖАЩЕЙ СТАЛИ

^{*} ИЧМ НАНУ, ^{**} СЗАО «ММЗ»

Разработана и внедрена сквозная ресурсосберегающая технология производства проката из экономнолегированной стали 20Г2Р (аналог стали 20СВГ2 по международному стандарту ISO 4954) разливаемой в НЛЗ сечением 125х125мм (СЗАО «ММЗ») для изготовления высокопрочного крепежа класса 8.8.

В машиностроении, автотранспортной промышленности, авиации и в ряде других отраслей в основном используются высокопрочные крепежные изделия классов 8.8; 10.9; 12.9. При производстве высокопрочных крепежных изделий, прогрессивным методом холодной объемной штамповки (ХОШ), обычно применяются углеродистые и низкоуглеродистые стали с содержанием углерода 0,30–0,45%. Поскольку горячекатаная сталь с таким содержанием углерода имеет низкую технологическую пластичность при ХОШ, то возникает необходимость в предварительном длительном отжиге. Эту операцию можно сократить или устранить вовсе, если снизить содержание углерода в стали. Однако при этом существенно снижается прокаливаемость стали. Поэтому в последнее время освоен выпуск низкоуглеродистых (0,15–0,25%) сталей для холодной высадки, микролегированных бором. При этом отмечается положительное влияние микролегирования стали бором (0,003–0,005%) на повышение ее прокаливаемости [1]. Основное преимущество низколегированных боросодержащих сталей заключается в том, что они не нуждаются в умягчающей термической обработке и не восприимчивы к образованию закалочных трещин. Наряду с указанными преимуществами эти стали после закалки и отпуска имеют лучшую пластичность и вязкость.

Микролегирование сталей нового поколения для ХОШ недорогими добавками бора, алюминия, титана, а также применение оптимальных режимов термомеханической обработки (ТМО) дает возможность повысить комплекс механических и технологических свойств металла. Известно, что бор, вводимый в сталь, связывает азот, блокирующий движение дислокаций при холодной деформации, и тем самым достигается дополнительный эффект разупрочнения при ТМО. Термодинамическими расчетами установлено, что бор, титан и алюминий обеспечивают крайне низкое ($10\text{--}48 \cdot 10^{-4}\%$) содержание азота в α железе. Это позволяет достичь низкой степени деформационного старения металла в условиях

высокоинтенсивного холодного деформирования изделий, применяемых при холодной высадке и выдавливании по ДСТУ 3684–98 и ГОСТ 10702–78, и обеспечить после закалки и отпуска требуемый класс прочности крепежных изделий.

В стандартах на прокат для холодной высадки и выдавливании (Украина – стандарт ДСТУ 3684; межгосударственный стандарт – ГОСТ 10702; национальные стандарты – DIN 1654; ASTM 510 и международный стандарт ISO 4954) основным требованием является обеспечение высокой технологической деформируемости, включающей способность металла к формоизменению с высокими степенями деформации (до 60–80%) без нарушения сплошности и при минимально возможном усилии, необходимом для осадки (высадки). Подробное рассмотрение факторов, определяющих высокую деформируемость металла в холодном состоянии, указывает на влияния содержания элементов в стали, в частности, на суммарное содержание азота и кислорода, которые не рекомендуется иметь более 0,01% [2], вредных и цветных примесей, а также содержания алюминия (не более 0,02%), кремния (не более 0,30%), а для борсодержащих сталей – бора (не более 0,005%).

С учетом указанных требований к прокату для холодной высадки и опыта применения борсодержащих сталей как за рубежом, так и в СНГ, выявивших повышенную эффективность добавок бора в сочетании с добавками марганца и хрома, а также литературных данных [3–6] ИЧМ НАНУ совместно с СЗАО «ММЗ» и ОАО «Завод Красная Этна» (г.Нижний Новгород, Россия) была разработана и освоена технология производства проката из стали 20Г2Р, из которого изготавливали высокопрочный крепеж методом ХОШ с последующей упрочняющей термической обработкой.

Технологический комплекс оборудования СЗАО «ММЗ» состоит из: электросталеплавильной печи, установки внепечной обработки стали, вакууматора, системы защиты струи и электромагнитного перемешивания стали (ЭМП), МНЛЗ, современного мелкосортно проволочного стана 320/150 и линии Стелмор для охлаждения проката. Особенностью технологии производства проката на СЗАО «ММЗ» является разливка стали в непрерывнолитые заготовки (НЛЗ) малого сечения (125x125 мм). Опыт производства и переработки проката для ХОШ, из такого металла, показал [2,3,7], что, благодаря меньшему размеру сечения НЛЗ по сравнению с обычно применяемыми, улучшаются условия кристаллизации стали, устраняется сегрегация химических элементов по длине НЛЗ, устраняются усадочные явления, однако прокатка сопровождается меньшей степенью деформации металла, вследствие чего в готовом прокате наблюдаются остатки литой структуры [8].

Однако 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 осаженных образцах не должно быть надрывов и трещин, но по соглашению 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 осаженных образцов оценивается по специальной шкале, которой предусмотрено пять классов дефектов: 0; 1; 2; 3; 4, 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 и от требований предъявляемых при этой переработке.

Таким образом, без указанных выше согласований к качеству поверхности требования отечественных НТД соответствуют 0–му классу дефекта по эталонной шкале.

На 1–ом этапе работ, проведенных на СЗАО «ММЗ» в 2001–2002 г.г. было показано, что в 85% случаев катанка диаметром 5,5–14 мм из низкоуглеродистой стали марок SAE 1005–1022, произведенная по текущим заказам, соответствует требованиям осадки по группе 66. Таким образом 85% плавок низкоуглеродистой стали может быть использовано для производства проката для холодной высадки без применения огневой или абразивной зачистки поверхности НЛЗ.

Расчетными методами было установлено:

- при глубине поверхностных дефектов на НЛЗ 2,48; 1,88 и 1,49 мм в готовом прокате диаметром 6,5; 9 и 12 мм соответственно, глубина дефектов не превышает 0,1 мм;
- на калиброванном прокате глубина залегания поверхностных дефектов, нормируемых ГОСТ 1051 для групп поверхности Б и В (качества h10 и h11) обеспечивается при степени деформации горячекатаного проката 19%.

Учитывая перечисленные выше аспекты, и опыт производства высокоэффективных видов металлопродукции (катанки для металлокорда и стальных канатов ответственного назначения, низкоуглеродистой катанки повышенной деформируемости), а также требования ОАО «Завод Красная Этна», ИЧМ совместно с СЗАО «ММЗ» были разработаны НТД на прокат для холодной высадки (техсоглашение ТС/ТО–02–2003) из стали 20Г2Р, а также была согласована методика оценки качества проката и для холодной высадки.

В соответствии с требованиями ОАО «Завод Красная Этна» сталь 20Г2Р должна быть аналогом стали 20СЕВГ2 (ISO 4954) по химическому составу: углерод 0,18–0,25% вместо 0,18–0,26% по ДСТУ 3684; марганец 0,9–1,3% вместо 1,3–1,6% по ДСТУ 3684; бор 0,002–0,005%, вместо 0,001–0,005% по ДСТУ 3684; остаточные доли никеля $\leq 0,15\%$, хрома $\leq 0,10\%$, меди $\leq 0,20\%$ вместо $\leq 0,25\%$ для всех перечисленных элементов по ДСТУ 3684).

«Методикой оценки качества проката для холодной высадки» согласовано:

- прокат испытывается на осадку в холодном состоянии до 1/3 первоначальной высоты образца в состоянии поставки или после сфероидизирующей термической обработки;
- на прокате в состоянии поставки допускаются отдельные мелкие риски глубиной не более 0,1 мм для сечения до 20 мм и не более 0,2 мм для сечений 20 мм и выше;
- поверхность осажённых образцов должна соответствовать баллам 0 и 1 шкалы эталонов, принятой в международной практике;
- характеристики прокаливаемости определяются на натуральных цилиндрических образцах длиной, равной 10 диаметрам проката;
- нагрев под закалку производится до температуры 900°C , время выдержки – 1 час, закалка в масле с температурой $\sim 50^{\circ}\text{C}$;
- твердость центральной зоны образцов должна быть не менее HRC 37;
- глубину обезуглероженного слоя допускается определять по методикам ISO 4954 и ДСТУ 3684, которые предусматривают замеры твердости по сечению закаленных образцов: глубина обезуглероживания (e) соответствует твердости H_e , которая определяется выражением $H_e = 0,8 \times H_{\max}$, где $H_{\max}$ – твердость необезуглероженного металла.

На 2-ом этапе работ на СЗАО «ММЗ» были выплавлены опытные плавки стали 20Г2Р с химическим составом, соответствующим требованиям ТС/ГО–02–2003, табл.1. Для более полного удаления кислорода, водорода и частично азота выплавка опытных плавок производилась с вакуумированием. Разливку стали осуществляли с полной защитой струи металла, кроме пл.№4, которую разливали только с нижней защитой струи и применением промковша с основной футеровкой. Для уменьшения ликвационных процессов по сечению НЛЗ применяли ЭМП стали в кристаллизаторе, а для снижения количества неметаллических включений и повышения качества поверхности НЛЗ осуществляли модификацию стали кальцием.

На первых плавках (№1, 2) ферробор вводили из расчета %В:% N = 1:1, но не более 0,006%B, на последующих плавках это соотношение составило 1,2:1, но не более 0,012%B.

По условиям разливаемости стали в условиях СЗАО «ММЗ» применение микродобавок алюминия и титана (соответственно для связывания кислорода и азота) недопустимо, поскольку они вызывают затягивание стаканов при разливке на МНЛЗ. Поэтому было принято решение компенсировать отсутствующие добавки алюминия и титана повышенными добавками бора.

Средняя температура стали на электропечи составляла 1627°C , при вакуумировании 1577°C , при разливке на МНЛЗ -1541°C . Химический состав опытных плавок стали 20Г2Р в целом соответствовал требованиям ОАО «Завод Красная Этна», в пл №1, 3 и 5 содержание кремния колебалось от 0,20 до 0,22% при норме $\leq 0,20\%$. Качество поверхности НЛЗ было удовлетворительным. Макроструктуру заготовок оценивали по ОСТ 14–1–235–91 и ГОСТ 10243–73.

В макроструктуре литых заготовок было обнаружено: центральная пористость и осевая ликвация до 4 балла; ликвационные полосы по сечению до 3 балла, угловые – 1,5–2 балла; осевые до 1,5 балла; краевое точечное загрязнение до 1–2 балла, а также подкорковые пузыри – 0,5 балла, которые по ДСТУ 3684 и ГОСТ 10702 не допускаются.

После осмотра заготовки опытных плавок были прокатаны в диаметры: 6,5; 9; 11 и 12 мм. Максимальная температура нагрева заготовок в печи с шагающим подом составляла 1200°C . Время нахождения заготовок в печи составляло 1,25 ч. Технические параметры прокатки и охлаждения проката приведены в табл.2. Температура металла перед проволочным блоком составляла $\sim 950^{\circ}\text{C}$. При охлаждении проката на линии Стелмор, все теплоизоляционные крышки были закрыты, а вентиляторы отключены.

После охлаждения на линии Стелмор прокат всех диаметров имел феррито–перлитную структуру, величина действительного зерна соответствовала номерам 6–12.

Опытно–промышленное опробование технологии производства проката в мотках диаметром 6,0–14 мм из стали 20Г2Р по ТС/ТО–02–2003 в условиях СЗАО «ММЗ» показало, что металл для ХОШ имеет:

- высокую точность геометрических параметров;
- стабильность химического состава;
- удовлетворительную микроструктуру;
- содержание окалины – не более 10 кг/т.

В то же время необходимо отметить:

- металл в целом имел нормативные механические характеристики, хотя имелись единичные случаи превышения предела прочности (610 вместо 580Н/мм^2) и снижения относительного сужения (23% против 25%);
- прокаливаемость проката диаметром 6,5 – 9 и 12 мм (пл.№1) и

диаметром 8–9 мм (пл.№2) достигала лишь HRC 36. На прокате остальных плавков прокаливаемость была удовлетворительная и соответствовала $\geq$ HRC 37;

Таблица 2. Режимы охлаждения проката из стали 20Г2Р на линии Стелмор стана 320/150 СЗАО «ММЗ»

№ п/п	№ пла- вок	Диа- метр, мм	№ мот- ков	Скорость, м/с		Температура, °С			
				на блоке	на линии Стелмор	на витко- укладчике	на линии Стелмор за секциями, №		
							8	16	32
1	1	6,5	6;13	101,0	0,2–0,3	940–960	740	650	600
2			14	101,0	0,2–0,3	900–930	800	700	630
3			15;17	101,0	0,2–0,3	840–860	800	700	630
4		7,0	1;2	85,6	0,2–0,3	860–880	760	670	620
5			3;4	85,6	0,2–0,3	950–960	720	680	630
6		8,0	9;10	67,0	0,2–0,3	950	760	670	620
7			11;12	67,0	0,2–0,3	850	720	680	630
8		9,0	5;6	51,5	0,2–0,3	860–870	740	650	600
9			7;8	85,6	0,2–0,3	950–970	800	700	630
10	2	6,0	1	101,0	0,2–0,3	940–960	–	–	–
11			2	101,0	0,2–0,3	840–860	–	–	–
12		8,0	3–8	6,7	0,2–0,3	950	–	–	–
13		9,0	9	101,0	0,2–0,3	940–960	–	–	–
14			12	101,0	0,2–0,3	840–860	–	–	–
15		11,0	35;36	35,0	0,3	870–880	–	–	–
16			37; 47; 60	35,0	0,3	840–860	–	–	–
17	4	11,0	3–8	35,0	0,2–0,3	840–860	–	–	–

– фактическая средняя глубина обезуглероженного слоя не превышала допустимые на сторону 1,5%;

– неметаллические включения: оксиды точечные, сульфиды, силикаты.

Имели место неудовлетворительные результаты осадки горячекатаного проката до 1/3 первоначальной высоты (группа осадки 66) в состоянии поставки, определяемые по специальной шкале эталонов. Вместе с тем, анализ химического состава стали 20Г2Р показал, что в неудачных плавках (№1, 2) содержание бора оказалось самым низким (0,0039 и 0,0052% соответственно) по сравнению с другими плавками. В связи с этим в плавках №1 и №2 бор находился преимущественно в связанном состоянии и не обеспечивал норм прокаливаемости.

Максимальная глубина обезуглероженного слоя отдельных опытных плавков определенного по ГОСТ 1763, метод М, превышала требования ТС/ТО–02–2003 – 1,5%, что по нашему мнению вызвано методическими трудностями из-за низкого содержания углерода в стали ($C \leq 0,3\%$). В свя-

зи с этим глубину обезуглероженного слоя необходимо определять по методике ISO 4954 (п.5, 4, 7) и ДСТУ 3684 (п.7, 12, 1).

В общей сложности на 2-ом этапе экспериментов было произведено и отгружено потребителю – ОАО «Завод Красная Этна» 664,655 т годного проката.

В соответствии с заказами ГАЗа, ВАЗа, Ульяновского и Павловского моторных заводов на ОАО «Завод Красная Этна» из борсодержащего проката диаметром 6,5–14мм были изготовлены:

- болты М6–М14 в соответствии с требованиями ГОСТ 1759.4 и ОСТ 37001.123.96;

- болты типа СП М8 (по спец чертежу);

- гайки фланцевые М8–М12.

При этом необходимо отметить, что при изготовлении болтов фланцевых типа СП М8, калиброванный прокат в нагартованном состоянии подвергался осадке до $\frac{1}{4}$ первоначальной высоты образца, т.е. соответствовал осадке по группе 75. Прокат из стали 20Г2Р перерабатывался на крепеж класса прочности 8.8 по следующей схеме: травление → калибровка → рекристаллизационный отжиг → травление → фосфатирование → калибровка → холодная высадка → термическая обработка готовых изделий. Калибровку металла с мотка на моток осуществляли на волоочильных станах типа ВС. Обжатие в первых проходах составляло 20–25%, в последних (подкалибровка) – 8–12%.

Рекристаллизационный отжиг проводили в электрических колпаковых печах типа ПСК–180 с защитной атмосферой. В качестве защитной атмосферы применяли экзогаз следующего состава: СО до 0,5%; СО₂ до 0,05%; Н₂ до 10%; остальное – N₂. Режим работы печи: нагрев до температуры 750⁰С – 3 ч.; выдержка при температуре 700⁰С – 10 ч.; отключение печи и охлаждение под колпаком 1 час; снятие колпака.

Штамповку болтов М6–М12 производили на многопозиционных автоматах марки NB 41412. Для получения заданных свойств болты подвергали термической обработке – объемной закалке и отпуску. Термическую обработку производили на закалочно–отпускных агрегатах СКЗА – 8.40.1/7.

Температура нагрева болтов под закалку соответствовала 880–900⁰С. Время нагрева под закалку – 40 мин. Охлаждающая среда – масло промышленное И20А – с температурой 40–80⁰С. Температура отпуска – 470 – 510⁰С (на класс 8.8.). Общее время обработки деталей от загрузки до их выгрузки составляет 3 ч.

Анализ забракованных изделий и образцов–свидетелей от проката соответствующих плавок показал, что брак составил 6081,0кг металла или 0,9% от поставленного объема проката, причем 615 кг – по риску глубиной 0,15 мм и закатам, которые раскрылись при наладке высадочного оборудования.

Результаты опытно–промышленной технологии производства проката из стали 20Г2Р позволили выработать ряд технологических решений, осуществление которых позволит решить проблему повышения качества проката СЗАО «ММЗ», предназначенного для холодной высадки. Так, для обеспечения норм прокаливаемости (твердость $\geq$ HRC 37) в стали 20Г2Р ИЧМ НАНУ рекомендовал скорректировать химический состав стали: содержание бора должно быть в пределах 0,006–0,012% (вместо 0,002–0,005%), причем содержание бора должно быть на 0,003% больше содержания азота; содержание цветных примесей – Cr, Ni, Cu – на уровне $\leq$ 0,25% каждого элемента вместо предусмотренных ТС/ТО – 02 – 2003 0,10; 0,15 и 0,20% соответственно. Повышение содержания цветных примесей позволило исключить из состава шихты, используемой при выплавке стали для ХОШ чугуна, который для СЗАО «ММЗ» является дефицитным сырьем и существенно повышает себестоимость продукции.

Для получения нормируемых значений механических характеристик (предел прочности $\sigma_b \leq 580$ Н/мм², относительное сужение $\Psi \geq 55\%$, относительное удлинение $\geq 25\%$) ИЧМ предложил раскладку витков проката для ХОШ на линии Стелмор стана 320/150 производить при температуре 940–970⁰С и витки охлаждать под закрытыми крышками при скорости 1–го и 12–го рольгангов 0,20 и 0,30 м/с соответственно.

С учетом полученных результатов при выпуске и переработке опытно–промышленных партий проката из стали 20Г2Р, а также рекомендаций ИЧМ на СЗАО «ММЗ» были выплавлены промышленные плавки стали 20Г2Р и произведен прокат для ХОШ. Химический состав плавки стали 20Г2Р приведен в табл. 3. Выплавку стали 20Г2Р производили с учетом скорректированной добавки бора (0,006 – 0,012%), для чего перед вакуумированием в сталь вводили ферроборовую проволоку из расчета содержания бора общего на 0,003% больше, чем содержание азота. В шихту плавки чугуна не добавляли. Технология выплавки промышленных партий стали 20Г2Р, была такой же, как и опытно–промышленных партий выплавки: металл обрабатывали на установке вакуумирования; при разливе производили ЭМП; применяли промковш с основной футеровкой и осуществляли полную защиту струи металла от вторичного окисления.

Химический состав стали 20Г2Р в целом соответствовал согласованным требованиям за исключением пл.№ 12, где содержание кремния достигало 0,23% при норме не более 0,20%. В связи с этим плавка №12 была назначена для производства арматурного проката. Металл опытных плавки №11;13;14 из стали 20Г2Р был прокатан на стане 320/150 согласно заказам ОАО «Завод Красная Этна» на диаметры 6,5; 10; и 11мм. Скорректированные режимы охлаждения на линии Стелмор гарантировано обеспечили: механические характеристики проката; величину действительного зерна в горячекатаном состоянии не более номера 5; содержание окалины ≤ 10 кг/т; твердость при закалке $\geq$ HRC 37.

Качество поверхности проката плавок № 13 и № 14 было удовлетворительное, а на прокате пл. №11 имелись отдельные риски глубиной до 0,17мм, что превышало допустимые требования ($\leq 0,1$ мм).

Осадку в горячекатаном состоянии до 1/3 высоты, группа 66, прокат пл. №13 и №14 выдержал удовлетворительно, что соответствовало классу дефекта 0 и 1 эталонной шкалы. Осадка по группе 66 проката пл.№11 оценивалась классом дефекта 1–2.

Оценка фактической загрязненности стали неметаллическими включениями (ГОСТ 1778, метод Ш4) показала: оксиды точечные (ОТ) не превышала балл 1,0 при среднем балле 0,55; силикаты недеформирующиеся (СН) не превышали балл 1 при среднем балле 0,55; силикаты хрупкие (СХ) не превышали балл 3 при среднем балле 2,05; силикаты пластичные (СП) не превышали балл 4 при среднем балле 1,44; сульфиды (С) не превышали балл 1, при среднем балле 0,55.

В результате освоения промышленной технологии на СЗАО «ММЗ» было прокатано и отгружено в адрес ОАО «Завод Красная Этна» около 2000т проката для ХОШ из стали 20Г2Р.

Заключение.

1.Статическими исследованиями в 2001–2002г.г. показано, что в 85% случаев катанка диаметром 5,5–14,0мм из низкоуглеродистой стали типа 1005–1022, произведенная СЗАО «ММЗ» по текущим заказам, соответствует требованиям осадки по группе 66 – основному требованию к прокату для холодной высадки.

2.Разработаны и согласованы с ОАО «Завод Красная Этна» технические требования к прокату из стали 20Г2Р диаметром 5,5–14,0 мм.

3.В условиях СЗАО «ММЗ» разработана и внедрена технология производства проката для ХОШ из стали 20Г2Р диаметром 5,5–14,0мм из непрерывнолитой заготовки малого сечения (125х125 мм), что не имеет аналогов в мировой практике.

4.Показано, что отказ от ввода добавок алюминия и титана, вызывающих затягивания стаканов при разливке НЛЗ, может быть компенсирован повышенным вводом добавок бора, причем для обеспечения норм прокаливаемости, количество вводимого в сталь бора должно на 0,003% превышать содержание азота в выплавленной стали и находится в пределах 0,006–0,012%.

5.Установлено, что прочностные и пластические характеристики проката для холодной высадки обеспечиваются при следующих режимах работы линии Стелмор: раскладка проката на витки при температуре 940...970⁰С; все вентиляторы выключены; все крышки рольганга закрыты; скорость первой группы рольганга – 0,2м/с, двенадцатой– 0,3м/с.

6.Расчетным методом показано:

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

– на калиброванном прокате глубина залегания поверхностных дефектов, нормируемых ГОСТ 1051 для групп поверхности Б и В (каллитеты h10 и h11) обеспечивается при степени деформации горячекатаного проката 19%.

7. По новой технологии на СЗАО «ММЗ» было произведено около 2000т проката для ХОШ из стали 20Г2Р, из которого на ОАО «Завод Красная Этна» изготовлен крепеж класса 8.8.

1. Браун М.П. Влияние легирующих элементов на свойства стали.– Киев: Государственное изд–во.1962.– 191с.
2. Matsunaga T., Shiwaku K. Manufacturing of Cold heading quality wires rods and wire. Conference on Rolling, Forming and Fabrication of Steel, Kaohsing, 1979.
3. Шифферль Х.А. Катанка из непрерывнолитой заготовки //Черные металлы.– 1986.–№7–С.53–58.
4. Сквозная технология производства высокопрочного крепежа из борсодержащих сталей /В.В.Парусов, Л.М.Катель, В.И.Биба и др.//Сталь.–1996.–№1.–С.51–53.
5. Повышение качества горячекатаного и калиброванного проката для холодной объемной штамповки /В.Л.Пилошенко, Л.В.Подобедов, В.В.Парусов и др.//Сталь.–1992.–№1.–С.63–68.
6. Борсодержащие стали эффективный и экономический конструкционный материал /Г.З.Ковальчук, В.Н.Ярмош, В.С.Лучкин//Черная металлургия Бюл.НТИ:–1991.–№3 (1103).– С.22–30.
7. 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. Киев:Наукова думка.–2003, вып.6.–С.
8. 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.