

От редакции

Под руководством профессоров Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова В.А. Бигеева и А.Б. Сычкова совместно с Институтом черной металлургии им. З.И. Некрасова Национальной Академии наук Украины (г. Днепропетровск) проводятся исследовательско-внедренческие работы по эффективным технологиям выплавки электропечной стали, ее внепечной обработки и непрерывной разливки, а также прокатки и термической обработки в потоке производства арматурного, фасонного проката, катанки и бунтового проката. При этом применяются процессы модифицирования, микролегирования стали кальцием, бором, ванадием, никелем, молибденом и другими химическими элементами. Получены новые технологии производства эффективных видов металлопродукции, в ряде случаев с уникальным комплексом структуры и свойств: арматурного проката в прутках и бунтах разных классов прочности с дополнительным уровнем свойств, катанки и бунтового проката для изготовления из высокоуглеродистой стали канатной, пружинной проволоки, высокопрочных стабилизированных арматурных канатов и проволоки для армирования железнодорожных шпал нового поколения для высокоскоростных и тяжело нагруженных путей сообщения, металлокорда, бортовой проволоки, резинотехнической проволоки; из низкоуглеродистой легированной стали – для производства омедненной проволоки для полу- и автоматической сварки.

Совместно с НПП «АТТА» (г. Екатеринбург) разработаны принципы модернизации линий двустадийного охлаждения бунтового проката типа Стелмор для осуществления в потоке производства изотермических видов термической обработки, таких как рекристаллизационный отжиг и патентирование.

Результаты исследований внедрены в условиях ОАО «Молдавский металлургический завод», ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», планируется освоение на ряде металлургических заводов РФ, ближнего и дальнего зарубежья (ОАО «Северсталь», Украины, Израиля и др.).

УДК 621.771.25:669.017:669.15

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА
ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТОЙ КАТАНКИ*Сычков А.Б.¹, Парусов В.В.², Ивин Ю.А.³, Дзюба А.Ю.³, Зайцев Г.С.¹¹ Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Россия² Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова Национальной Академии наук Украины³ Магнитогорский металлургический комбинат, Россия

Аннотация. В статье приводятся краткие результаты исследований, проведенных в условиях ОАО «Молдавский металлургический завод» за последние 25 лет и позволивших разработать научно-обоснованные технологические решения по повышению качественных характеристик высокоуглеродистой катанки, которая обладает высокой технологичностью при переработке на метизном переделе. В работе принимали активное участие сотрудники Института Черной Металлургии им. З.И. Некрасова Национальной Академии наук Украины. Результаты этих исследований успешно внедряются на родственных металлургических предприятиях, в том числе и в ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», в частности технология производства высокоуглеродистой катанки – бунтового проката большого диаметра 15,5-16,0 мм из стали 80P для изготовления железнодорожных шпал нового поколения для тяжело нагруженных и скоростных путей.

Ключевые слова: сталь, модифицирование, микролегирование, катанка, проволока, структура, свойства.

Введение

В настоящее время на мировом рынке востребована катанка из высокоуглеродистых сталей для производства проволоки под пружины, канаты, металлокорд, для железобетонных шпал нового поколения, для изготовления которых не требуется проведение патентирования перед волочением катанки или на промежуточном размере проволоки.

Ниже приводятся краткие результаты исследований, позволившие разработать научно обоснованные технологические решения по повышению качественных характеристик катанки для эффективной переработки на метизном переделе.

Технологические разработки. Результаты исследований и обсуждение

Катанка для металлокорда

Основные требования к качественным показателям стали, НЛЗ и катанки для изготовления металлокорда следующие: обеспечение заданных пределов по содержанию основных химических элементов; снижение содержания вредных примесей; повышение чистоты стали по НВ, особенно недеформируемым; получение НЛЗ с бездефектной поверхностью, минимальной ликвацией, пористостью; обеспечение однородности структуры и механических свойств катанки по длине бунта; получение в структуре сорбитообразного перлита в количестве >50% при минимальном количестве структурно-свободного феррита или цементита; исключение закалочных структур.

Ниже рассмотрено обеспечение этих требований.

* В работе принимали участие А.Н. Савьюк, И.В. Деревянченко, М.А. Жигарев, С.Ю. Жукова, А.В. Перчаткин.

Химический состав стали

Технология выплавки и внепечной обработки стали гарантирует точное попадание в заданный химический состав кордовой стали марок 70КРД, 80КРД, 85КРД с незначительным внутривсплавочным размахом вариации (разбегом) массовых долей элементов: $\Delta C = 0-0,01\%$; $\Delta Mn = 0-0,03\%$; $\Delta Si = 0-0,03\%$; межвсплавочный разброс значений соответственно составляет: $\Delta C = 0-0,04\%$; $\Delta Mn = 0-0,05\%$; $\Delta Si = 0-0,05\%$. Содержание фосфора и серы обеспечивается на уровне соответственно не более 0,015 и 0,006%, что является весьма хорошим показателем; $Cr \leq 0,15\%$; $Ni \leq 0,15\%$; $Cu \leq 0,25\%$ не оказывает негативного воздействия на свойства катанки и проволоки для металлокорда [1, 2].

Микродобавка бора, связывая азот в его нитрид, уменьшает степень развития процессов деформационного старения при волочении. При соотношении $B/N=0,20-0,25$ в кордовой стали в наибольшей мере проявляется пластифицирующее действие бора. Вакуумирование стали, обеспечивая ее глубокую дегазацию по водороду (до вакуумирования содержание водорода – 2-6, после вакуумирования – 0,3-1,5 ppm) и в меньшей степени по азоту (соответственно 0,010-0,012 и 0,005-0,007%), обуславливает дополнительное повышение пластичности катанки. Так, если при первичных испытаниях катанка из невакуумированной стали марки 70КРД имеет уровень относительного сужения $\psi = 30-35\%$, то из вакуумированной стали – 38-45%.

Количество вредных примесей в стали обеспечивается, в основном, на низком уровне: $P \leq 0,010$; $S \leq 0,005$; $As \leq 0,01$; $Zn \leq 0,001$; $Pb \leq 0,01$; $Sn \leq 0,01\%$. Это дополнительно повышает пластические характеристики катанки и ее деформируемость в холодном состоянии.

Неметаллические включения (НВ)

НВ, находящиеся в металлической матрице, имеют, как правило, различную деформируемость. Вследствие этого на границе недеформирующихся НВ формируются микрополости – нарушения сплошности металла, по которым в дальнейшем может происходить разрушение катанки и проволоки [3].

Установлен комплекс технологических мероприятий, позволяющих снизить загрязненность металла НВ: применение ограниченного количества кальцийсодержащей порошковой проволоки для модифицирования НВ; использование основных футеровок СК и промежуточного ковша (ПК); выбор оптимального состава теплоизолирующих и рафинирующих засыпок в УКП, не содержащих оксидов железа и марганца; продувка стали в УКП аргоном через специальные продувочные блоки; защита от вторичного окисления струи стали, истекающей из СК в ПК и из ПК в кристаллизатор.

Уменьшение в условиях ММЗ загрязненности НВ катанки из высокоуглеродистой стали для металлокорда (совместно с другими показателями качества) обеспечило высокую технологичность ее переработки на метизном переделе (обрывность при микроволочении – не более $1,5-2,0 \text{ т}^{-1}$, при свивке прядей и кордовых конструкций – не более $2,0-2,5 \text{ т}^{-1}$).

Макро- и микроструктура катанки

Результаты исследований показывают следующее:

- из-за дендритной ликвации в НЛЗ образуются ликвационные полосы, «шнуры», структурная полочность, остатки которых выявляются и в катанке, и в проволоке; ЭМП увеличивает количество центров кристаллизации и способствует увеличению скорости кристаллизации; зона равноосных кристаллов в результате действия ЭМП заметно увеличивается – в среднем в 1,7 раза, при этом центральная ликвация и пористость рассредотачиваются;

- ликвация на макро- и микроуровне обуславливает также и формирование в центральных частях высокоуглеродистой катанки мартенситных участков, протяженность которых составляет от 5 до 200 мкм. Оптимизация процесса кристаллизации слитка, режимов ЭМП, степени перегрева над температурой ликвидус позволяет практически исключить появление закалочных структур.

Установлено, что имеются два интервала температур раскладки катанки на витки ($t_{в/у}$), где межпластинчатое расстояние в перлите минимально: первый интервал – 950-1000°C, второй – менее 700°C. В этих случаях образуется практически 100% мелкодисперсного перлита 1 балла (межпластинчатое расстояние < 0,2 мкм). При $t_{в/у}$ ниже 700°C в поверхностных слоях катанки формируется сорбит отпуска, ухудшающий технологичность переработки такой катанки в проволоку. При высоких $t_{в/у}$ (950-1000°C) увеличивается среднее количество вторичной окалины до 6-8 кг/т против 2-4 кг/т при $t_{в/у}$ 800-850°C, однако в последнем случае количество мелкодисперсного перлита уменьшается на 30-40%. В связи с тем, что формируемая при температурах 950-1000°C окалина состоит, в основном, из вюстита и затем она вместе с витками катанки подвергается быстрому охлаждению вентиляторным воздухом, превращение вюстита в магнетит не происходит, вследствие чего обеспечивается легкое удаление такой окалины перед волочением как химическим, так и механическим способами. Увеличением же расхода металла в окалину при этом можно пренебречь, так как повышение дисперсности перлита при одновременном снижении глубины обезуглероживания улучшает деформируемость металла при волочении и свивке металлокорда.

Наряду с дисперсностью перлита на деформируемость катанки и проволоки оказывает влияние и размер действительного зерна. Для высокоуглеродистой катанки этот размер оптимален в диапазоне №7-11.

Обезуглероживание и качество поверхности катанки

Мягкая обезуглероженная поверхность [4-6] обеспечивает повышенную пластичность металла при перегибах и скручиваниях из-за малой чувствительности к концентраторам напряжений и, следовательно, высокой сопротивляемости к зарождению трещин. Формирование в обезуглероженном слое остаточных сжимающих напряжений приводит к повышению усталостной прочности при работе в канатах, коррозионной стойкости и улучшению оцинкования прово-

локи. В обезуглероженном слое не образуются мартенсит истирания и вызываемые им поверхностные трещины и надрывы. С учетом изложенного необходимо обеспечивать равномерную глубину обезуглероживания катанки по её периметру. Однако обезуглероженный ферритный слой ухудшает адгезию латуни к поверхности бортовой и кордовой проволоки. Сквозной технологией производства высокоуглеродистой катанки обеспечивается низкая дефектность её поверхности: глубина дефектов не превышает 0,15 мм (в 95% случаев не более 0,10 мм).

Высокоуглеродистая катанка для производства высокопрочных натяжных проволок и арматурных канатов

Основной сложностью в производстве данного вида продукции является обеспечение заданной высокой прочности исходной катанки – не менее 1150, 1200 и 1250 Н/мм², что обусловлено высокой прочностью арматурных канатов – не менее 1770, 1860, 2000 Н/мм². Так как для производства данной продукции используется катанка крупных диаметров – 8,0-16,0 мм, то проблема обеспечения заданного структурного состояния и предела прочности в исходной катанке достигается легированием стали и интенсивным охлаждением на линии Stelmor.

Максимальная скорость воздушного охлаждения на линии Stelmor составляет не более 10-12°C/с вместо необходимых 20-25°C/с. Вследствие этого достижение требуемой структуры и, соответственно, уровня прочности катанки может быть получено только при дополнительном легировании стали ванадием и/или хромом.

Структурная неоднородность стали приводит к появлению микронапряжений, в результате чего при проведении механических испытаний непосредственно после прокатки наблюдается преждевременный разрыв образцов катанки, вследствие чего не достигается номинальное значение предела прочности. Как показали исследования, разрушение происходит именно в местах химической и структурной неоднородности стали. Поэтому номинальный предел прочности катанки достигается только после ее вылеживания в течение нескольких дней, в процессе которого существенно снижается содержание водорода в стали и уровень микронапряжений. Очевидно, что химическая и структурная неоднородность стали оказывает негативное влияние и на технологичность переработки катанки-проволоки на метизном переделе.

Другим проявлением ликвационных процессов в высокоуглеродистой катанке является образование цементитной сетки, степень развития которой повышается с увеличением содержания углерода в стали. Подавить выделение цементитной сетки возможно либо интенсивным воздушным охлаждением катанки, либо снижением содержания углерода в стали за счет дополнительного легирования такими элементами, как Mn, V и Cr.

Для устранения негативного влияния структурной неоднородности стали, в том числе мартенситных участков, необходима установка более эффективной системы ЭМП, увеличение поперечного сечения НЛЗ,

интенсификация воздушного охлаждения катанки на линии Stelmor, микролегирование стали бором.

Как показали опытно-промышленные эксперименты, технологичность переработки высокоуглеродистой катанки в натяжную проволоку и натяжные пряди удовлетворительная.

Катанка из стали 80P для производства железнодорожных шпал нового поколения в условиях ОАО «ММК»

Базовая технология производства стали 80P в ОАО «ММК» изложена в работах [7-9].

Недостатки такой технологии производства высокоуглеродистой стали марки 80P, оказывающие влияние на качество стальной заготовки, следующие:

1. На АПК не проводится модифицирование НВ, что обуславливает наличие в стали крупных недеформирующихся НВ.

2. Массовая доля алюминия в стали составляет 0,01-0,03% для раскисления стали. Это неэффективно, так как сталь значительно загрязняется недеформируемыми окислами алюминия, приводящими к затягиванию разливочных отверстий и обрывности проволоки при ее волочении.

3. Повышенное содержание в стали кремния и низкое отношение марганца к кремнию. Высокое содержание в стали кремния и алюминия приводит к формированию в стали НВ алюмосиликатного типа и снижает технологическую деформируемость проката на метизном переделе.

4. В стали после АПК наблюдается высокое содержание водорода – до 5 ppm, что обуславливает повышенную дефектность НЛЗ по НВ и явление водородного охрупчивания стали.

5. Относительно высокое содержание FeO (1,3-1,8%) в белых шлаках АКП, что подтверждает вероятность образования в стали оксидных НВ.

Переработка опытных плавок показывает, что исключение обработки стали алюминием (0,002 вместо 0,010%) с одновременным повышением отношения марганца к кремнию (2,5-2,9 вместо не более 2,4), модифицирование кальцием при одном и том технологическом режиме прокатки, термообработки на линии Стелмор и последующем переделе (метизном и на ЗЖБШ) обусловило снижение обрывности при волочении проволоки с 0,34 до 0,12-0,02 т⁻¹, то есть в 2,8-17 раз. Эти результаты подтверждают высокую эффективность предложенной технологии.

В конкретных производственных условиях предложено увеличить $t_{в/у}$ до 920-930°C вместо 840-880°C (по ТИ и рекомендациям фирмы Даниели) для максимальной сорбитизации перлитной структуры; скорость роликового транспортера витков – 0,5-0,8 м/с для получения однородности структуры и свойств витков проката за счет равномерного обдува металла вентиляторным воздухом: в работе все 14 вентиляторов на максимальной мощности. Для исключения на метизном переделе операции патентирования рекомендуется модернизация линии Стелмор стана 170 ОАО «ММК».

Были опробованы предложенные режимы. Металлографический анализ показал, что по сравнению с

резко неоднородной структурой проката диаметром 15,5-16,0 мм, произведенной по схеме 1 обработки на линии Стелмор ММК ($t_{в/у} = 840-880^{\circ}\text{C}$, $V_{тр} = 0,15$ м/с, в работе 14 вентиляторов) и улучшенной технологической схемой 2 ММК ($t_{в/у} = 840-880^{\circ}\text{C}$, $V_{тр} = 0,15$ м/с, все вентиляторы отключены – фактически это режим прокатной нормализации), опытный режим ($t_{в/у} = 900-940^{\circ}\text{C}$, $V_{тр} = 0,5-0,8$ м/с, в работе 14 вентиляторов с максимальной нагрузкой) характеризуется высокой однородностью структуры и дисперсностью перлита: межпластинчатое расстояние в перлите по режимам соответственно составило 0,28 мкм при прокатной нормализации, 0,23 мкм при скорости транспортера 0,5 м/с и повышенной температурой виткообразования и охлаждении вентиляторами, 0,15 мкм при скорости транспортера 0,8 м/с и повышенной температурой виткообразования и охлаждении вентиляторами. Наблюдается различие в дисперсности перлита – количестве перлита 1 и 2 баллов по ГОСТ 8233-56 на поверхности и сердцевине поперечного сечения проката. Эта разница составляет на опытном металле для температуры виткообразования до 10%, для контрольных партий – до 40%.

Высокую эффективность опытных режимов доказывает снижение обрывности на метизном переделе и на ЗЖБШ. Долевое влияние на обрывность при волочении составило примерно 50%: обрывность опытных партий проката – $0,01 \text{ т}^{-1}$ по сравнению с $0,04 \text{ т}^{-1}$ на контрольных партиях.

Закключение

В условиях ММЗ разработаны и внедрены научно обоснованные технические решения по производству высокоуглеродистой катанки. Сочетание модифицирования стали кальцием и микролегирования бором, защиты металла от вторичного окисления, вакуумирова-

ния и ТМО позволило осуществить безобрывное волочение катанки и проволоки. В условиях ОАО «ММК» внедрены научно обоснованные технологические решения по производству высокоуглеродистой катанки под железнодорожные шпалы нового поколения.

Список литературы

1. Парусов В.В., Сычков А.Б., Парусов Э.В. Теоретические и технологические основы производства высокоэффективных видов катанки. Днепропетровск: АРТ-ПРЕСС, 2012. 376 с.
2. Сычков А.Б. Разработка сквозной технологии производства эффективных видов катанки из непрерывно-литой заготовки с повышенным содержанием примесей цветных металлов и азота: дис. ... д-ра техн. наук: 05.16.01, 05.16.02. Минск, 2005. 380 с.
3. Губенко С.И. Трансформация неметаллических включений в стали. М.: Металлургия, 1991. 224 с.
4. Белалов Х.Н. Формирование свойств канатной проволоки // Стальные канаты: науч. тр. Одесса: Астропринт, 2001. С. 105-116.
5. Высокоуглеродистая катанка для изготовления высокопрочных арматурных канатов / А.Б. Сычков, М.А. Жигарев, А.М. Нестеренко, С.Ю. Жукова, А.В. Перегудов. Бендеры: Полиграфист, 2010. 280 с.
6. 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.
7. Бигеев В.А., Сычков А.Б., Зайцев Г.С. Усовершенствование технологии производства: стали марки 80Р в условиях ЭСПЦ ОАО «ММК» // Теория и технология металлургического производства: межрегион. сб. науч. трудов / под ред. В.М. Колокольцева. Магнитогорск, 2012. Вып. 12. С. 43-48.
8. Усовершенствование сквозной технологии производства бунтового проката из стали марки 80Р в условиях ОАО «ММК» / А.Г. Корчунов, В.А. Бигеев, А.Б. Сычков, Г.С. Зайцев, Ю.А. Ивин, А.Ю. Дзюба // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2013. №2 (42). С. 29-35.
9. Сквозная технология производства бунтового проката из стали марки 80Р/В.М. Колокольцев, М.В. Чукин, В.А. Бигеев, А.Б. Сычков, Г.С. Зайцев // Перспективы развития металлургии и машиностроения с использованием завершенных фундаментальных исследований и НИОКР: материалы науч.-практич. конф. с международным участием и элементами школы для молодых ученых. Екатеринбург: ООО «УИПЦ», 2013. С. 235-239.
10. Бигеев В.А., Сычков А.Б., Зайцев Г.С. Совершенствование технологии производства высокоуглеродистой эвтектичной стали при помощи эффективного модифицирования и микролегирования // Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Энергосбережение. Экология. Новые технологии: материалы X Всерос. науч.-практич. конф. с международным участием. Старый Оскол, 2013. С. 3-8.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

THE FEATURES OF HIGH CARBON WIRE ROD MANUFACTURING TECHNIQUE

Sychkov Alexandr Borisovich – D.Sc. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: ab-sychkov@mail.ru.

Parusov Vladimir Vasilievich – D.Sc. (Eng.), Professor, Head of Metal Heat Treatment For Engineering department, Z.I. Nekrasov Institute of Ferrous Metallurgy, National Academy of Sciences of Ukraine.

Ivin Yuri Alexandrovich – Head of Electric Steelmaking Laboratory (Key Laboratory of Plant) of OJSC Magnitogorsk Iron and Steel Works, Russia.

Dziuba Anton Yurievich – Head of Profiled Rolling Laboratory (Key Laboratory of Plant) of OJSC Magnitogorsk Iron and Steel Works, Russia.

Zaitsev Gregory Sergeevich – Postgraduate Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Acting Principal Engineer of Meltshop, OJSC Magnitogorsk Iron and Steel Works, Russia.

Abstract. The article summarizes the results of studies carried out under conditions of Moldova Steel Works OJSC for the last 25 years. The science-based technological solutions to improve the qualitative characteristics of high carbon wire rod, which has a high deformability in drawing were resulted from. The staff of Z.I. Nekrasov Institute of Ferrous Metallurgy of National Academy of Sciences of Ukraine took an active part in these studies. The results of these studies are effectively introduced at other primary metals establishments, including OJSC «ММК», in particular, the technology for manufacturing of high carbon wire rod-rolled in coils of large diameter 15.5-16.0 mm, made of 80P steel for manufacture of new generation rails sleepers for heavy-laden and high-speed roads.

Keywords: steel, modification, microalloying, wire rod, structure, properties.

References

1. Parusov V.V., Sychkov A.B., Parusov E.V. *Theoretical and technological bases of production of high species wire rod*. Dnepropetrovsk: ART-PRESS, 2012. 376 p.
2. Sychkov A.B. *Razrabotka skvoznoy tehnologii proizvodstva effektivnykh vidov katanki iz neprerivno-litoy zagotovki s povyshennym soderzhaniiem primesey tsvetnykh metallov i azota: dis. ... d-ra tehn. nauk* [Development of production technology through effective types of wire rod continuously cast billets with a high content of non-ferrous metals and nitrogen. Dr. Diss.]. Minsk, 2005. 380 p.
3. Gubenko S.I. *Transformatsiya nemetallicheskh vklucheniye v stali* [Transformation of non-metallic inclusions in steel]. Moscow: Metallurgy, 1991. 224 p.

4. Belalov H.N. Formation properties of the cable wire. *Stalnye kanaty: Nauch. tr.* [Steel ropes: Scientific. works]. Odessa: Astroprint, 2001, pp. 105-116.
5. Sychkov A.B., Zhigarev M.A., Nesterenko A.M., Zhukova S.Y., Peregodov A.V. *Vysokouglerodistaya katanka dlya izgotovleniya vyisokoprochnykh armaturnykh kanatov* [High carbon wire rod for the manufacture of high-strength reinforcing ropes]. Bender: Poligrafist, 2010, 280 p.
6. Parusov V.V., Nesterenko A.M., Sychkov A.B. etc. Wire rod Moldovan Metallurgical Plant for production of tire cord. *Stalnye kanaty: nauch. tr.* [Steel ropes: Scientific. Works]. Odessa: Astroprint, 2001, pp. 99-105.
7. Bigeev V.A., Sychkov A.B., Zaitsev G.S. Improvement of production technology steel 80P under EAFP OJSC «Magnitogorsk Iron and Steel Works». *Teoriya i tehnologiya metallurgicheskogo proizvodstva: mezhregion. sb. nauch. trudov / pod red. V.M. Kolokoltseva*. [Theory and technology of steel production. Interregional Scientific. Works]. Ed. V.M. Kolokoltsev. Magnitogorsk, 2012, pp. 43-48.
8. Korchunov A.G., Bigeev V.A., Sychkov A.B., Zaitsev G.S., Ivin Y.A., Dziuba A.Y. Improvement of production technology through coils rolled steel grade 80P at OJSC «Magnitogorsk Iron and Steel Works». *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova*. [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2013, no. 2 (42). pp. 29-35.
9. Kolokoltsev V.M., Chukin M.V., Bigeev V.A., Sychkov A.B., Zaitsev G.S. Through the technology of production coils rolled steel grade 80P. *Perspektivy razvitiya metallurgii i mashinostroeniya s ispolzovaniem zavershennykh fundamentalnykh issledovaniy i NIOKR: materialy nauch.-praktich. konf. s mezhdunarodnym uchastiem i elementami shkoly dlya molodykh uchenykh* [Prospects for the development of metallurgy and engineering completed using basic fundamental research and research and development. Scientific and practical conference with international participation and elements of a school for young scientists]. Ekaterinburg, 2013, pp. 235-239.
10. Bigeev V.A., Sychkov A.B., Zaitsev G.S. Improvement of production technology, high-carbon eutectoid steel began using the effective modification and microalloying. *Sovremennyye problemy gorno-metallurgicheskogo kompleksa. Energoberezhenie. Ekologiya. Novyye tehnologii: materialy X Vseros. nauch.-praktich. konf. s mezhdunarodnym uchastiem* [Recent developments in the mining and metallurgical complex. Energy saving. Ecology. New technology. X All-Russian scientific and practical conference with international participation]. Stary Oskol, 2013, pp. 3-8.