

УДК 621.785:620.1:001

**В.В.Парусов, Э.В.Парусов, Л.В.Сагура, О.В.Парусов, И.Н.Чуйко,
А.И.Сивак**

**НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ДОСТИЖЕНИЯ ОТДЕЛА
ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛА ДЛЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ
ЗА 2009-2014 гг.**

Институт черной металлургии НАН Украины

Разработаны научно-обоснованные новые в Украине технологические процессы производства высокоуглеродистой катанки для металлокорда, арматурных канатов (прядей), сварочной проволоки и проката для холодной высадки, которые превышают требования национальных стандартов и технических условий и соответствуют требованиям европейских стандартов и спецификаций. Новые технологические процессы являются энерго- и ресурсосберегающими.

Ключевые слова: технологические процессы, разработка, высокоуглеродистая катанка, металлокорд, арматурные канаты, сварочная проволока, прокат для холодной высадки, стандарты

Отдел термической обработки металла для машиностроения (ОТОМ) Института черной металлургии НАН Украины создан в 1996 году и является правопреемником научных традиций реорганизованного отдела металлостроения и термической обработки стали. ОТОМ внес большой вклад в разработку научных основ новых технологических процессов производства высококачественного сортового проката, в том числе для холодной объемной штамповки, и катанки из сталей широкого марочного сортамента, в частности, для металлокорда и стальных канатов, арматурных прядей, сварочной проволоки и пр. Научно-технологические разработки ОТОМ нашли практическое применение на ряде металлургических предприятий Украины и ближнего зарубежья и до сих пор остаются актуальными.

В связи с евроинтеграцией Украины основными задачами ОТОМ на современном этапе являются разработка и освоение новых марок стали, соответствующих требованиям евростандартов, а также новых технологий производства проката с учетом повышения качества металлопродукции и энергосбережения. Ниже приведены основные научно-технологические разработки ОТОМ.

1. Катанка для металлокорда и пружин

ОТОМ разработана и успешно внедрена технология производства высокоуглеродистой катанки диаметром 5,5 мм из стали марки 80КРД (ТУ У 14-4-470-2000), которая предназначена: для изготовления армирующего материала для автомобильных шин (металлокорд типа 9Л15/27 по ГОСТ 14311-85 и высокопрочный металлокорд типа 9Л20/35НТ по ТУ У 28.7-00191046-005-2002).

При переработке катанки из стали марки 80КРД в высокопрочный металллокорд удалось исключить как исходное патентирование катанки, так и промежуточное на передельной заготовке диаметром 3,2 мм. В отличие от традиционной (устаревшей) схемы переработки высокоуглеродистой катанки патентирование производится только на диаметре 1,8 мм. Удаление поверхностной окалины осуществляется как механическим, так и химическим способами. Глубина обезуглероженного слоя на катанке составляет в среднем 1,0 %, оптимальная микроструктура (количество перлита 1-го балла по ГОСТ 8233 составляет более 75 %), размер неметаллических включений (деформируемые не более 17 мкм, недеформируемые не более 12 мкм) позволяют производить безобрывное волочение катанки с суммарной степенью деформации более 95 %.

При разработке технологии производства катанки из высокоуглеродистой стали марки 80КРД были изучены закономерности кинетики превращений аустенита в указанной марке стали при непрерывном охлаждении и построена термокинетическая диаграмма; разработана методика расчета количества окалины на поверхности катанки в зависимости от ее толщины; установлены соотношения между межпластиночным расстоянием и временным сопротивлением разрыву, массой окалины и обезуглероженным слоем; разработана критериальная оценка деформируемости катанки в проволоку, зависящая от суммарной площади неметаллических включений в катанке-проволоке; установлено влияние на межпластиночное расстояние температуры раскладки катанки на витки; определено оптимальное соотношение бор/азот в углеродистой катанке, снижающее показатели деформационного старения и технологической пластичности.

Разработаны научно-обоснованные режимы производства катанки марок 70 и 55 диаметрами 6,50 и 5,50 мм, предназначенной для изготовления пружинной проволоки. В условиях ООО «Бусол» и ПАО «Днепрометиз» была произведена переработка высокоуглеродистой катанки в пружинную проволоку диаметрами 3,70; 2,20; 1,75 и 1,40 мм.

Требования к качественным характеристикам катанки и разработанные режимы термомеханической обработки (ТМО) катанки позволили обеспечить ее прямое (без применения патентирования) волочение с предварительным удалением поверхностной окалины как механическим, так и химическим способами.

По разработанной технологии производится также катанка для металллокорда, соответствующая требованиям спецификаций Pirelli № 02.B.002 и Bekaert № GS-02-002.

Разработанные комплексные технологии успешно внедрены по кооперации ОАО «Молдавский металлургический завод» – ЧАО «ПО «Стальканат-Силур» завод «Силур», ООО «Бусол» и ПАО «Днепрометиз».

Готовая метизная продукция при аттестации показала полное соответствие требованиям стандартов и технических условий.

2. Катанка для арматурных прядей

Основой современного эффективного строительства являются арматурные канаты (пряжи), которые используются как самостоятельно (вантовые мосты), так и в железобетонных конструкциях (здания, виадуки, резервуары, ангары, нефтедобывающие платформы, атомные электростанции, аэропорты, тоннели и др.).

Для изготовления арматурных прядей используется катанка диаметром от 5,0 до 12 мм с содержанием углерода от 0,70 до 0,90 %.

При производстве арматурных прядей классов 1770, 1860, 2060 по Frg EN 10138-3 исходная прочность катанки должна быть не менее 1150, 1200 и 1250 Н/мм² соответственно.

Арматурные пряди получают путем свивки проволоки в 3-, 7-, 19-проволочные канаты с последующей их стабилизацией (отпуск при температурах 370...390⁰С с противонапряжением – остаточная деформация до 1,1%).

Европейские производители изготавливают высокопрочную проволоку для арматурных прядей из высокоуглеродистой катанки стали марок С80D2-С88D2 (евронорма EN ISO 16120, часть 4). Катанка подвергается сорбитизации с прокатного нагрева на современных линиях Stelmog, что позволяет произвести из такой катанки прямым волочением (без предварительного и/или промежуточного патентирования) высокопрочную проволоку и затем – высокопрочные арматурные пряди.

ОТОМ проведены работы по установлению закономерностей влияния химического состава и режимов ТМО катанки из высокоуглеродистой стали, микролегированной ванадием и бором, на процессы структурообразования, механические характеристики и технологичность переработки в высокопрочную проволоку для арматурных прядей.

С учетом установленных закономерностей структурообразования в стали С80D2, микролегированной ванадием и бором, была разработана и внедрена технология ТМО катанки, которая обеспечивает получение необходимых микроструктуры и комплекса механических и технологических свойств высокоуглеродистой катанки, позволяет повысить деформируемость и получать проволоку прямым волочением.

На Череповецком заводе ОАО «Северсталь-метиз» были изготовлены стабилизированные высокопрочные арматурные канаты диаметрами 15,2 и 18 мм по ТУ-047 (РФ) из катанки диаметром 12 мм. Стабилизированные арматурные канаты (пряжи) обладают рядом преимуществ перед канатами, изготовленными без стабилизирующей обработки, так как характеризуются увеличением предела текучести и временного сопротивления разрыву на 10-15%; увеличением предела упругости на 25-30%; снижением потерь напряжений при релаксации на 5-8%; повышением надежности и долговечности конструкции.

Опыт, полученный при разработке технологии производства высокоуглеродистой катанки из стали 80КРД, позволил разработать уникальную технологию производства высокоуглеродистой катанки диаметром 8,0;

10,0 и 11,0 мм из стали марки типа 85, которая предназначена для высокопрочных 7-проволочных арматурных прядей по Frg EN 10138-3 диаметром 9,3; 12,5 и 15,2 мм соответственно, однако сталь не содержит добавок дорогостоящих элементов, таких как ванадий и хром.

Качественные характеристики полученной катанки из стали типа 85 (глубина обезуглероженного слоя, микроструктура, размер неметаллических включений) позволили провести ее переработку в условиях ЧАО ПО «Стальканат-Силур» завод «Силур» в высокопрочные пряди, которые полностью соответствовали нормам Frg EN 10138-3.

3. Сварочная катанка-проволока

ОТОМ разработана и успешно внедрена технология производства высококачественной катанки диаметром 5,5...6,5 мм прямого волочения из легированной стали марок Св-08Г2С, Св-08ГА, Св-10ГАА, Св-10НМА, Св-08ХМ, Св-08ГМ, Св-10ГМ, Св-08ГНМ, Св-08Г1НМА, Св-08ХГ2СМФ, Св-10ХГ2СМФ, Св-08Г1НФАА, Св-08Г1Н2ФАА, S2Mo, SG1, SG2, SG3, предназначенной для изготовления сварочной омедненной проволоки диаметром 0,8...5,0 мм для полу- и автоматической сварки в среде защитных газов и под флюсом конструкций судов и магистральных газо- и нефтепроводов.

Традиционная технология изготовления сварочной проволоки включает химическое удаление окалины, волочение катанки диаметром 5,5...6,5 мм в проволоку диаметром 5,0...0,8 мм с применением 1 или 2 операций смягчающей термической обработки (рекристаллизационного отжига) и перед окончательной подтяжкой. Такая технологическая схема производства сварочной проволоки из легированных сталей неэффективна: она затратная (имеет значительную продолжительность технологического цикла, требует использования большего количества энергоресурсов, технологического оборудования и производственных площадей, повышенной численности обслуживающего персонала) и существенно загрязняет окружающую среду.

ОТОМ разработаны принципы пластифицирования катанки сварочного назначения, снижающие действие структурно-деформационных упрочняющих эффектов, которые заключаются в следующем: уменьшении общей степени легирования твердого раствора за счет снижения (в рамках требований нормативной документации) содержания в стали углерода, марганца, кремния, фосфора, хрома, никеля, меди, молибдена, ванадия и др.; снижении микродеформации кристаллической решетки феррита и плотности дислокаций за счет уменьшения в твердом растворе атомов внедрения – азота, что достигается связыванием азота бором в мелкодисперсный нитрид бора при соотношении В/N, близком к стехиометрическому соотношению (~0,8); снижении микроликвационных явлений в непрерывнолитых заготовках и прокате; уменьшении количества структурных концентраторов напряжений (бейнитно-мартенситных участков) путем проведения разупрочняющей термомеханической обработки катанки на линии Stelmor.

Важным аспектом также является получение катанки с низким количеством окалины на поверхности, которая должна легко удаляться как механическим, так и химическим способами. При этом на поверхности катанки должно быть минимальное количество остаточной окалины, что необходимо для стабильности процесса волочения и качественного медного покрытия проволоки.

Разработанная технология производства высокопластичной катанки позволяет изготавливать из нее омедненную сварочную проволоку необходимых диаметров с использованием механического или химического удаления поверхностной окалины и без применения смягчающей термообработки.

Разработанная технология производства высокопластичной катанки из легированной стали сварочного назначения успешно внедрена в условиях ОАО «Молдавский металлургический завод» (ТУ У 27.1-23365425-653:2010, ТО/ТС-СС-01-2008 и DIN 17145). Сварочная проволока, произведенная из такой катанки соответствует требованиям ГОСТ 2246-70, EN 440, DIN 8559, СТО 71915393-ТУ 070-2008, ТУ 1227-058-27286438-2007.

Основными потребителями такой катанки являются следующие предприятия:

- Украина: ПАО «Днепрометиз»; ЧАО ПО «Стальканат-Силур»; ЧАО «АМЗ «Вистек»; ПАО «ПлазмаТек»;
- Россия: ОАО «Межгосметиз-Мценск»; ОАО «Северсталь-метиз»; ОАО «ММК-Метиз»; ЗАО «Балтийский сталепрокатный завод»; ООО «Металл-Стандарт Группа»; ООО «ТПК Свартех»; ОАО «НИИМетиз»; ООО «Свармонтажстрой»;
- Беларусь: ООО «Оливер».

4. Прокат для холодной висадки

В странах ближнего зарубежья прокат, предназначенный для холодной объемной штамповки (ХОШ) изготавливают в соответствии с ГОСТ 10702 и ДСТУ 3684. Соблюдение нормируемых стандартами технических требований обеспечивает изготовление качественных крепежных изделий с суммарной деформацией 75 % и выше.

В связи с выходом Украины на международный рынок в ряде случаев контрактные технические требования и критерии оценки качества проката для ХОШ отличаются от нормируемых вышеуказанными стандартами, что обуславливает необходимость разработки новых и совершенствование существующих составов экономнолегированных сталей и требований к прокату для ХОШ.

Разработан новый подход к микролегированию стали для ХОШ борм, согласно которому требуемая прокаливаемость достигается при содержании бора, превышающем на 0,003 % по массе содержание азота. В общем виде соотношение содержания бора и азота выражается следующим образом: $B/N = (1+K/N)$, где $K = 0,0025-0,0035$ %.

На основании проведенных исследований создана сталь с более широкими пределами содержания бора (0,005-0,015 %) по сравнению с ранее известными (0,001-0,005 %), которая обладает высокой прокаливаемостью при содержании азота до 0,012%.

Методом многокритериальной оптимизации показано:

- прочностные и пластические характеристики проката из бористых сталей, подвергнутого разупрочняющей ТМО, при совместном увеличении содержаний азота и бора возрастают;

-при содержании азота до 0,0074 % повышение содержания бора приводит к снижению прочностных и повышению пластических характеристик проката;

-твердость сердцевины закаленного в масле проката из бористых сталей, характеризующая прокаливаемость, достигает максимальных значений при содержании азота и бора в пределах 0,0062-0,0080 % и 0,0062-0,010 % соответственно.

Нижние пределы содержаний азота и бора характерны для сталей, в которых, наряду с бором, содержатся добавки алюминия и титана, а верхние пределы – для бористых сталей нового поколения.

Показано, что холодная деформируемость борсодержащих сталей для ХОШ со структурой феррита и пластинчатого перлита обусловлена снижением прочности и повышением пластичности при условии выполнения установленного соотношения между содержанием бора и азота в стали.

На основании теоретических и экспериментальных исследований разработана и, в условиях ОАО «Молдавского металлургического завода» реализована комплексная технология производства проката из стали, полученной в электродуговых печах, с более высокими, чем принято, содержаниями бора и азота, и разлитой в заготовки малого (125x125 мм) сечения на машинах непрерывного литья.

Разработаны и согласованы:

- техническое соглашение ТС/ТО-02-2003 на прокат из борсодержащих сталей 12Г1Р, 20Г2Р, 30Г1Р, в которое внесены установленные ОТом требования;

-параметры разупрочняющей ТМО проката для ХОШ из борсодержащих сталей, предусматривающей окончание прокатки в проволочном блоке при температуре 1020-1070°C, охлаждение водой перед раскладкой на витки до 920-970°C со скоростью 100-300°C/с и воздушное охлаждение витков проката со скоростью 0,3-0,4°C/с на транспортере проволочного стана до 500-550°C, а затем со скоростью 0,5-1,0°C/с до ~ 350°C. При разупрочняющей ТМО происходит статическая рекристаллизация аустенита и соотношении феррита к перлиту близко к равновесному (Ф/П=65/35), вследствие чего механические характеристики проката соответствуют требованиям ТС/ТО-02-2003.

Таким образом, разработаны химический состав борсодержащей стали нового поколения для проката для ХОШ и режимы разупрочняющей термомеханической обработки проката из этой стали.

Заключение. ОТОМ разработаны научно-обоснованные новые в Украине технологические процессы производства катанки для металлокорда, арматурных канатов (прядей), сварочной проволоки и проката для ХОШ, которые превышают требования национальных стандартов и технических условий и соответствуют требованиям европейских стандартов и спецификаций. Новые технологические процессы являются энерго- и ресурсосберегающими.

*Статья рекомендована к печати
Докт.техн.наук, проф. Г.В.Левченко*

***В.В.Парусов, Е.В.Парусов, Л.В.Сагура, О.В.Парусов, І.М.Чуйко,
А.І.Сивак***

Науково-технологічні досягнення відділу термічної обробки металу для машинобудування за 2009-2014 р.р.

Розроблено науково-технологічні основи нових в Україні технологічних процесів виробництва катанки для металокорду, арматурних канатів, зварювального дроту і прокату для холодної висадки, які перевищують вимоги національних стандартів і технічних умов і відповідають вимогам європейських стандартів і специфікацій. Нові технологічні процеси є енерго- та ресурсозберігаючими.

Ключові слова: технологічні процеси, розробка, високовуглецева катанка, металокорд, арматурні канати, зварювальний дріт, прокат для холодної висадки, стандарти

***V.V.Parusov, E.V.Parusov, L.V.Sagura, O.V.Parusov, I.N.Cujjko,
A.I.Sivak***

Scientific and technological achievements of metal heat treatment for mechanical engineering in 2009-2014

Scientific and technological basis of new in Ukraine of technological processes of production of wire-rod for steel cord, reinforcing ropes, welding wire and rolled for the cold upsetting, which exceeds the requirements of national standards and technical conditions and meet the requirements of the European standards and specifications has been developed. New technological processes are energy conservation and resource conservation.

Keywords: technological processes, development, high carbon wire rods, steel, reinforcing cables, welding wire, steel for cold heading, standards