

УДК 621.785.5 621.787

**ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ИНТЕНСИВНО
ИЗНАШИВАЮЩИХСЯ ДЕТАЛЕЙ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ
МАШИН**

**THE INTENSIVELY INCREASE THE DURABILITY OF THE WEAR
PARTS OF CONSTRUCTION MACHINERY**

Загорский Я. В., Загорский В. К., Кусова И. В.

**ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной
технический университет», г. Уфа Российская Федерация
ФГБОУ ВПО « Уфимский государственный авиационный
технический университет», г. Уфа Российская Федерация**

J. V. Zagorski, V. K. Zagorski, I. V. Kusova

**FSBEI HPE “Ufa State Petroleum Technological University”,
Ufa, the Russian Federation**

**FSBEI HPE “Ufa State Aviation Technical University”
Ufa, the Russian Federation**

e-mail: kalkutta@mail.ru

Аннотация. В статье впервые представлена энерго и ресурсосберегающая, импортозамещающая, экологически чистая нанотехнология поверхностного упрочнения интенсивно изнашивающихся деталей, позволяющая упрочнять крупногабаритные детали из обычных сталей в промышленных масштабах с получением структур наноразмерного диапазона. Технология прошла проверку и внедрена в различных отраслях промышленности в условиях экстремального износа: на бандажах маневровых и карьерных тепловозов, трамваев, колесах грузоподъемных машин, на деталях канатно-подвесной дороги, валках

глиносмесителей кирпичных заводов, на барабанах и катках лебедок для подъема судов, на пальцах сочленений черпаковых цепей земснарядов, грейферов, на катках и фрикционах ходовой части гусеничных машин, тормозных барабанах и на др. деталях.

Неограниченное и часто необоснованное применение для изготовления перечисленных деталей нашла экологически опасная сталь 110Г13 содержащая 15% марганца. На их примере показан огромный материальный ущерб, наносимый природе и обществу, связанный с проблемами экологии и технического прогресса.

В результате на отравление окружающей среды второе столетие поступает несметное количество отравляющих веществ, большая часть из которых может быть устранена. Указанные проблемы вековые и в одночасье не разрешимы. Но то, что позволяет даже в незначительной мере сохранить природу и ресурсы планеты для будущих поколений должно стать предметом пристального внимания общественности.

Abstract. This article the first time presented the energy and resource saving, import substitution, environmentally friendly nanotechnology surface hardening rapidly wearing parts, which allows the hardening of large parts of ordinary steels on an industrial scale to obtain the structures of nanoscale range. The technology has been checked and implemented in various industries under extreme wear: on bandages shunting and mining locomotives, trams, wheels lifting machines, on the details of cable-suspended road rollers soil mixers brick factories, drums and rollers winches for lifting vessels on fingers joints scoop chain dredges, grabs, on rollers and friction undercarriage tracked vehicles, brake drums and others.

Not limited and often groundless use for the manufacture of these components found environmentally dangerous steel 110G13 containing 15% manganese. Their example shows the huge material damage to nature and society, associated with environmental problems and technological progress.

As a result, poisoning of the environment the second century comes a myriad of toxic substances, most of which can be eliminated.

The age-old problem and not solvable overnight. But that allows even to a small extent to preserve nature and the planet's resources for future generations should be subject to public scrutiny.

Ключевые слова: структура, металл, наноразмерный диапазон, экология, кристаллизация, расплав, аустенизация, аустенит, мартенсит, твердость, износостойкость, эффективность.

Key words: structure, metal, nanoscale range, ecology, crystallization, melt austenization, austenite, martensite, hardness, wear resistance, efficiency.

В 2014 г. был опубликован ряд статей, в которых содержалось обращение к читателям журналов [1,2,3] с предупреждением о наносимом вреде в результате безразличной деятельности многих компаний и государственных инстанций высокого уровня к состоянию экологических проблем и технического прогресса. Десятки, сотни постановлений, законодательных актов, технологических платформ, Роснано, Сколково, бизнес инкубаторы, импортозамещение, энерго и ресурсосбережение-каждый день по радио и телевидению неустанно, круглосуточно, мы слышим эти фразы, а воз и ныне там.

Износ механизмов, коррозия металлов, экологическая безопасность окружающей среды тесно связаны между собой, являясь виновниками огромных материальных потерь. До 50% ежегодно выплавляемого металла теряется, нанося непоправимый ущерб окружающей среде. Кроме того, до 20-30% компонентов сплавов безвозмездно пропадает из-за угара в процессе плавки ферросплавов, самого металла и вторичном переплаве металлолома. Все мировые свалки на 90% завалены недоиспользованным металлом. Представленная ситуация позволяет оценить состояние технического прогресса. Миллионы тонн металла поступающие в

окружающую среду из-за коррозии, износа машин, угара при плавке, сопровождаемой сжиганием газа, нефтепродуктов, угля, древесины, отходов жизнедеятельности, исчерпали все резервы природы в борьбе с безумием цивилизации.

Указанные проблемы вековые и в одночасье не разрешимы. Но то, что позволяет даже в незначительной мере сохранить природу и ресурсы планеты для будущих поколений должно стать предметом пристального внимания общественности.

Авторы статьи неоднократно публиковали материалы относительно отравления окружающей среды, дрящущееся второе столетие, за счет массового использования в условиях износа экологически опасной стали 110Г13 содержащей 15% марганца, которое можно остановить. В прошлом её применение было неизбежным, но после создания технологии, позволяющих во многих случаях, произвести замену этой стали, да еще с большой экономической выгодой, игнорирование достижений отечественной науки приобретает преступный характер.

Эта сталь обладает уникальным свойством упрочняться в условиях интенсивного механического воздействия. Аустенит, полученный за счет легирования марганцем, при ударном воздействии превращается в мартенсит с поглощением большого количества энергии разрушения. При исходной твердости 220 единиц НВ твердость тонких поверхностных слоев повышается до 50 единиц НRс. Применение этой стали на стрелочных переводах железнодорожных путей разумно и оправдано.

Для реализации бесценного свойства этой стали необходимо, чтобы в узлах трения и износа, где она часто необоснованно применяется, удельные давления достигали уровня предела текучести, что не достижимо в реальных конструкциях. Расчет реальной конструкции любой детали при проектировании производится из условия прочности на изгиб, кручение, на растяжение, сжатие, на срез, смятие с 2-3 кратным запасом прочности, то есть с уровнем напряжений много меньшим предела текучести.

Характерным примером нерационального применения этой стали является изготовление черпаков для земснарядов, пальцев, втулок черпаковой цепи, грейферов, драг, деталей дорожно-строительных машин, катков и траков гусеничных машин – деталей массово используемой техники, работающей в условиях контактного, абразивного и фрикционного износа.

Из расчетов на прочность диаметр пальцев сочленений в кинематических парах и других сопряжениях оказывается намного больше, чем это необходимо для реализации упрочняющего свойства этой стали.

При этом следует отметить высокую не технологичность этой стали из-за плохой обрабатываемости резанием по причине упрочнения металла, что в несколько раз удорожает механическую обработку. Стоимость этой стали в 5-6 раз выше ординарной среднеуглеродистой при показателях прочности в 2-3 ниже и низкой износостойкости в условиях безударного шаржирования абразивом. При весе одного комплекта, например, пальцев и втулок земснаряда ПЧС-600 8-10 т и более огромные ресурсы выбрасываются не на решение технической стороны проблемы, а на отравление окружающей среды.

Более того, применение материалов одного и того же химического состава, как это имеет часто место в узлах трения качения, скольжения, не допустимо. Поскольку при этом из-за равенства параметров кристаллических решёток дополнительно к рабочему износу добавляется самый интенсивный в природе катастрофический износ схватыванием (заеданием), высокая интенсивность которого связана с образованием мостиков сварки и вырывом частиц металла, разрушающих обе сопрягаемые детали. В таких условиях работают бандажи и рельсы ЖД транспорта, катки и траки гусеничных машин, пальцы и втулки черпаковой цепи земснарядов и многие др. детали.

Негатив экологической стороны износа деталей содержащих никель, хром, марганец, кроется в том, что при производстве одной тонны стали, например 110Г13 в окружающую среду выбрасывается около 500 кг марганца в виде пыли, продуктов окисления при плавке и продуктов износа при эксплуатации. В таблице 1 приведены результаты расчета выбросов марганца в окружающую среду на всех стадиях производства, эксплуатации и утилизации отработавших деталей на примере комплекта пальцев и втулок земснарядов ПЧС-600, используемых для очистки речных проходов, для добычи гравия на нужды строительства жилья, дорог и других целей.

Таким образом, на отравление окружающей среды второе столетие поступает несметное количество отравляющих веществ, большая часть из которых может быть устранена.

Применение других сталей не содержащих ядовитых компонентов в узлах интенсивного износа связано с необходимостью применения дорогостоящих операций едва окупающих затраты на их выполнение. Объемная закалка, ТВЧ, химико-термическая, лазерная, плазменная обработка обеспечивают повышение износостойкости в 1,5-2 раза.

Таблица 1. Расчет выбросов марганца на всех стадиях производства комплекта деталей земснаряда ПЧС-600

№ п/п	Наименование	Ед. изм.	Кол-во
1	при добыче руды, флотации, всех видах транспортировки, хранения 15%	кг	150
2	при плавке ферромарганца 15%	кг	150
3	при плавке, угар 20% от 15% в стали	кг	30
4	при точении деталей в стружке 15%	кг	26,4
5	в продуктах износа комплекта на 30% (10-15мм)	кг	45
6	при переплаве отработанных деталей	кг	20
7	Итого потери на 1 т деталей	кг	420
8	Всего на комплект весом 10 т	кг	4200

Наиболее передовыми методами являются лазерная, плазменная, ионная обработка металлов. Применение этих технологий при разрозненном мелкосерийном производстве не окупает затраты

дорогостоящего оборудования, расходных материалов, низкого КПД, необходимости высокой квалификации обслуживающего персонала, средств защиты от излучения и вредных выбросов.

Марганцовистая сталь дает положительный эффект в тяжело нагруженных узлах только после термообработки на аустенизацию с целью получения чисто аустенитной структуры без карбидов. Углерод, содержащийся в карбидах, при аустенизации внедряется в твердый раствор, повышая его прочность, что позволяет полностью реализовать бесценное свойство этой стали. На практике же эта сталь в большинстве случаев применяется без термообработки, поскольку эта операция удорожает стоимость деталей еще до двух раз.

Для исследований нестабильности аустенитных сплавов к мартенситному превращению и повышению их износостойкости отливались образцы с варьированием химического состава. При этом интерес представляло исследование механизма сопротивления разрушению аустенитных сплавов для чего образцы подвергались различным видам воздействия.

Структура литого пальца земснаряда в исходном состоянии показана на рисунке 1а, после аустенизации на рисунке 1б (производства Уфимского моторостроительного объединения), рисунок 1в (производства Чехословакия).

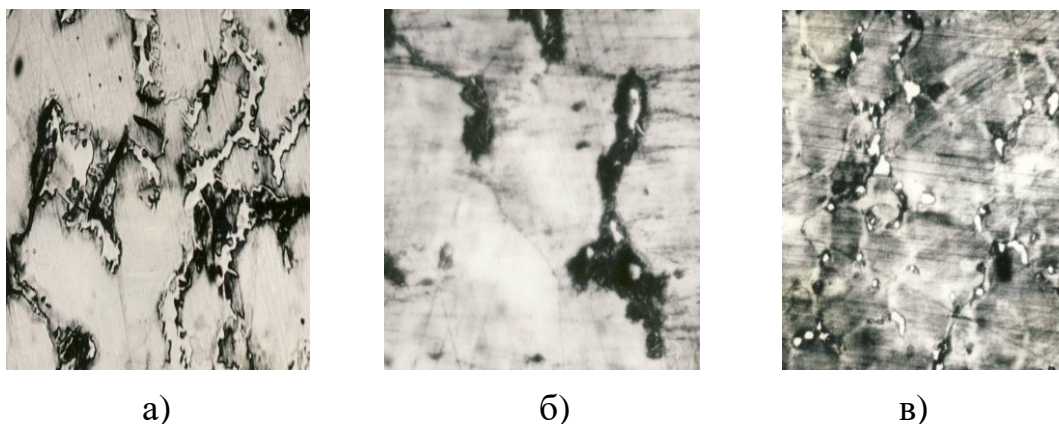
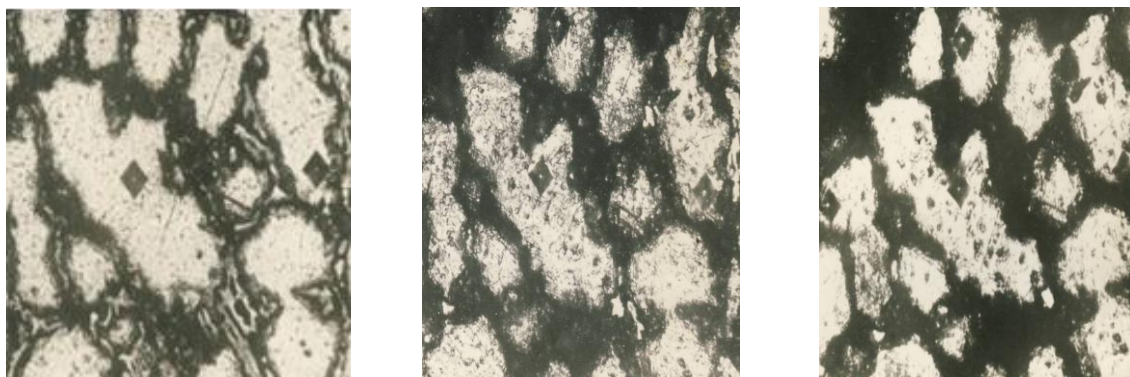


Рисунок 1. Структура пальцев земснаряда ПЧС-600, сталь 110Г13, Х250:
а) в исходном состоянии; б) после аустенизации; в) то же

Исследование механизма разрушения, проведенное авторами на образцах из стали 110Г13 при кавитационном, гидроабразивном, фрикционном, статическом и температурном нагружении показали, что разрушение её начинается с выкрашивания карбидов поверхностного слоя (рисунок 2) и, как следствие, интенсификации дальнейшего процесса разрушения.



а) 5 мин

б) 15 мин

в) 30 мин

Рисунок 2. Состояние структуры аустенитного сплава после кавитационного воздействия

На рисунке 3а показано состояние поверхности полированного образца без травления, полученное на экспериментальном сплаве после статической деформации сжатием, на котором видны линии скольжения на поверхности, подтверждающие высокую пластичность аустенита достигшего уровня пластической деформации.

На рисунке 3б показана структура аустенитного зерна претерпевшего превращение в процессе механического нагружения до предела текучести с выделением мартенсита деформации. При этом четко видна более высокая нестабильность границ зерна к мартенситному превращению связанная с обеднением их углеродом по причине выделения карбидов по периметру границ.

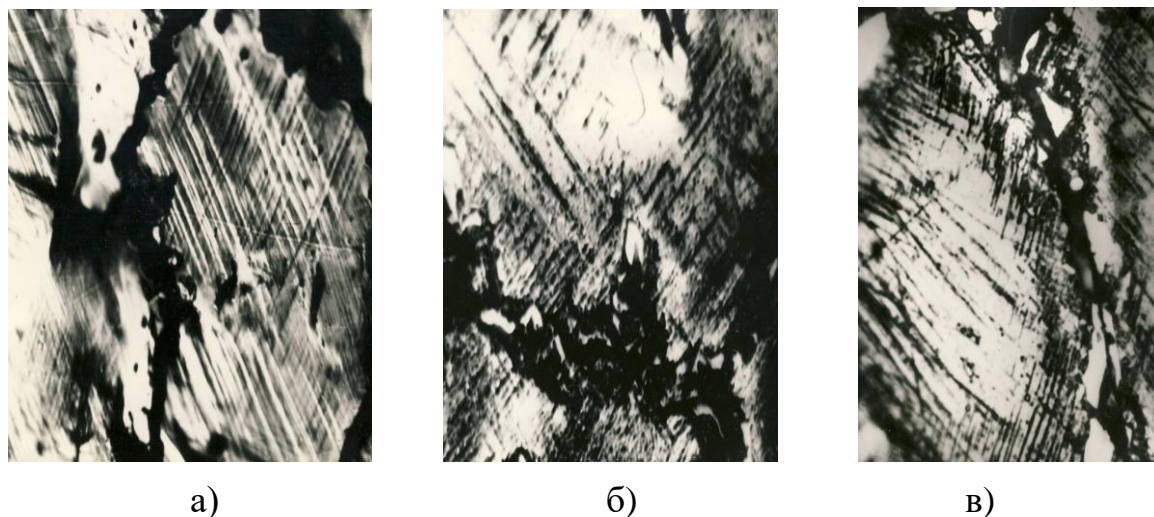


Рисунок 3. Структура аустенитного сплава х 1960:

а) линии скольжения на поверхности, полученные после деформации сжатием; б) выделение мартенсита деформации по границам зерен. Шлиф травленный в) выделение мартенсита по границам зерен. Охлаждение в жидком азоте. Шлиф травленный

На рисунке 3в показано состояние структуры после охлаждения ниже точки мартенситного превращения, из которого видна также высокая нестабильность границ зерен аустенита, претерпевающих мартенситное превращение.

Представленный факт укрепления границ зерен аустенита за счет аустенитно-мартенситного превращения, сопровождающийся значительным повышением микротвердости, поглощением энергии на упрочнение, позволяет объяснить высокую износостойкость аустенитных сплавов. При этом особо необходимо отметить, что во всех представленных случаях нагружения карбидная составляющая сплава выкрашивается в первую очередь, что в реальных условиях помимо естественных условий износа приводит к интенсификации разрушения обеих сопрягаемых деталей собственными высоко-абразивными продуктами износа.

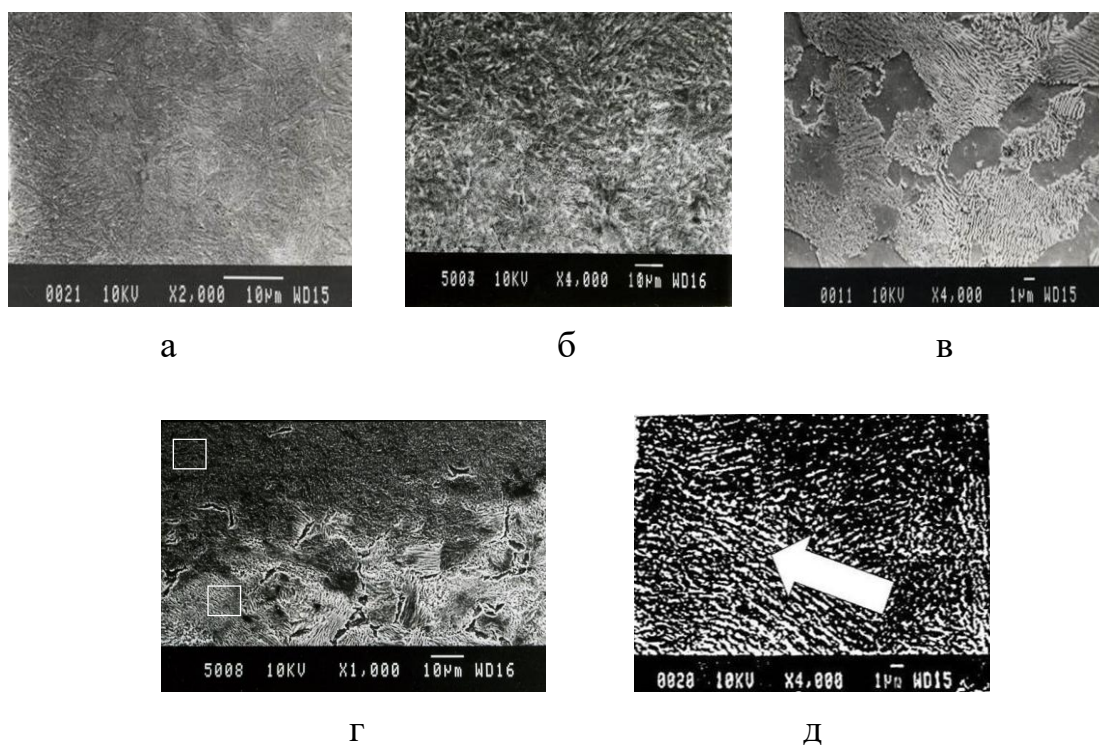


Рисунок 4 электронная микроскопия упрочненного слоя стали 45:
 а), б) – у поверхности; в), г) – в переходной зоне;
 д) – текстурированность мартенсита

Исследования характера разрушения аустенитных сплавов и полученные результаты легли в основу разработки технологии поверхностного упрочнения железоуглеродистых сплавов, позволившей частично устранить основные недостатки применяемых износостойких сплавов и технологий.

Разработанная технология обеспечивает стабилизацию аустенитного состояния поверхностных слоев в оплавленной зоне за счет сверхкритических скоростей охлаждения и легирования с получением высокодисперсных аустенитно-мартенситных структур наноразмерного диапазона, что не достижимо другими способами упрочнения. Технология позволяет перевести весь углерод в твердый раствор и стабилизировать структуру остаточного аустенита (рисунок 4 а, б, в). Карбиды в структуре отсутствуют. Электронная микроскопия при увеличениях x4000 показала наличие в структуре зародышевой фазы свободного графита в глобулярной форме (рисунок 4б).

Рентгеновский фазовый анализ выполнялся на дифрактометре ДРОН-3 в СО излучении, для чего с поверхности образцов электро полированием последовательно снимали слой толщиной 0,1 мм, микрорентгеноспектральный анализ распределения углерода по глубине упрочненной зоны – на установке РЭММА-202м, позволили установить, что структура в исходном состоянии имеет многослойное строение и состоит из трех зон: оплавленной зоны глубиной до 0,5 мм, зоны термического влияния глубиной 1,2-1,4 мм и переходной зоны, характерных для лазерной и плазменной обработки.

Структура оплавленной зоны состоит из мелкодисперсных кристаллов с содержанием углерода от 2% до исходного в сплаве, остаточного аустенита от 70 до 15%, микротвердость высокоуглеродистого аустенита находится в пределах от 12000 до 9000 МПа в зависимости от режимов упрочнения и марки стали убывающих по глубине.

Зона термического влияния вследствие нагрева в интервале температур Тпл-Ас3 представляет закаленную на мартенсит структуру, состоящую из светлых зерен с повышенной травимостью границ.

Третья переходная зона, примыкающая к структуре основного металла, формируется вследствие нагрева в двухфазную $\gamma \rightarrow \alpha$ область состоит преимущественно из зерен окруженных ферритной сеткой с переходом к тонкому строению глобулярного перлита и далее к основе.

Просвечивающая электронная микроскопия методом фольг при увеличениях $\times 100000-200000$ показала высокую дисперсность тонкой структуры аустенита (рисунок 5). ИК спектроскопия позволила выявить значительное количество фуллеренов имеющих сфероидальную топологию и их производных [7].

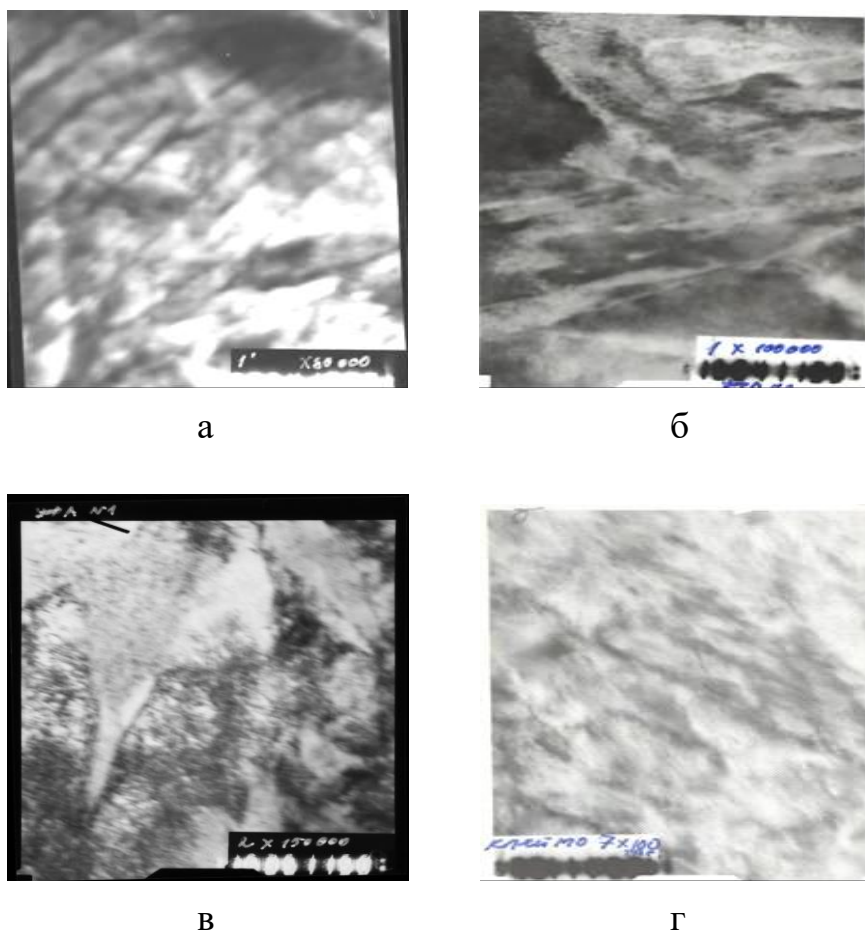


Рисунок 5. Электронная микроскопия стали 45 методом фольг:
 а,б,в) – упрочненная зона у поверхности; г) – фрагмент игл мартенсита

Дисперсность структур аустенитно-мартенситного композита попадает в наноразмерный диапазон. Для сравнения на рисунке 6 представлена сканирующая зондовая микроскопия поверхности пленки GaSb выращенной на прослойке GaSb методом жидкостной эпитаксии [8].

Сравнение нано-структур (рисунок 6) полученных в процессе физических исследований со структурами, полученными на рисунке 5 при упрочнении ординарной стали в промышленных условиях, показывает наличие некоторой общности их формирования в виде направленной волны.

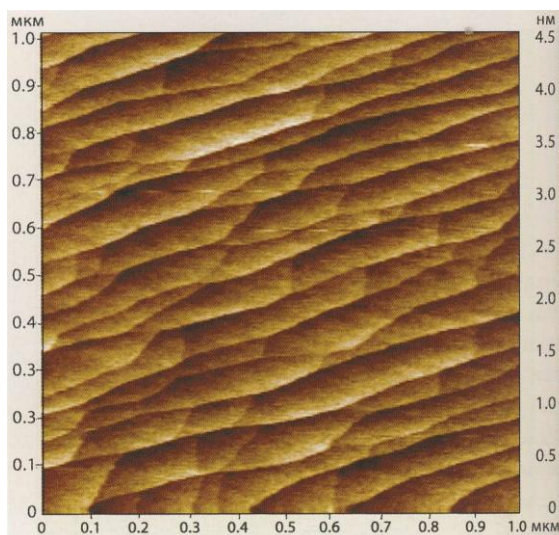


Рисунок 6. Поверхность пленки GaSb выращенной методом жидкофазной эпитаксии [8]

Предположительно в процессе упрочнения концентрированным источником энергии с оплавлением и закалкой из жидкой фазы локального объема с сверхкритическими скоростями охлаждения, движущие силы направленной кристаллизации и формирования структур волнового характера связаны с термодинамической устойчивостью расплава, градиентами концентрации, температур, скоростями обработки, охлаждения, кристаллизации и распространения тепловой волны. Перечисленные особенности позволяют затормозить рост зародышевой фазы с получением высокой дисперсности структур.

При кристаллизации обычных сплавов движущими силами являются: наличие зародышевой фазы и переохлаждения, обеспечивающих однородное кристаллическое строение в больших объемах вещества с получением дисперсности ординарного уровня.

Практически это одна из первых нанотехнологий, позволяющая обрабатывать крупногабаритные детали на ординарных сталях в промышленных масштабах с получением структур наноразмерного диапазона со всеми вытекающими преимуществами.

В процессе упрочнения на поверхности формируется волнистый профиль с шагом сканирования и высотой неровностей 0,3-0,4 мм

(рисунок 7а), играющих решающую роль при износе аустенитных сплавов. Взаимодействие волнистой поверхности пальца с поверхностью втулки из стали 110Г13 обеспечивает значительное повышение удельного давления в зоне сопряжения доходящего до предела текучести, вызывая течение поверхностного слоя втулки рисунок 7б с копированием рельефа поверхности пальца рисунок 7а.

В тоже время из-за высоких удельных давлений, возникающих на поверхности выступов профиля пальца происходит упрочнение остаточного аустенита оплавленной зоны с значительным повышением твердости. Аустенит втулки и пальца, имеющие разный химический состав, упрочняется при этом до предельных значений, исключая разрушение схватыванием. При поверхностной твердости металла, достигающей 60% от твердости абразива, износостойкость металла резко растет. Кроме того, структура высокодисперсного аустенита играет роль сухой смазки, а наличие в структуре включений графита играет роль молекулярной смазки. Испытания упрочненных образцов по схеме «диск-палец» показали, что температура и коэффициент трения скольжения в зоне контакта снижаются в 3-4 раза. Все вместе способствует увеличению износостойкости сопряжения «палец-втулка». Рельеф, образовавшийся на внутренней поверхности втулки после эксплуатации в паре с упрочненным пальцем, показан на рисунке 7б.



а)



б)

Рисунок 7. Рельеф поверхностей а) пальца и б) втулки, отработавших на навигацию

Износостойкость упрочненных пальцев из стали 45,40Х в сравнении с пальцами из стали 110Г13 увеличилась на порядок с диаметральным износом за навигацию 1мм. Износостойкость втулок увеличивается в 1,5-2 раза. Большая часть комплекта порядка 80% выдерживает наработку в течение двух навигаций с последующим повторным упрочнением и эксплуатацией. В жестких условиях абразивного разрушения стойкость упрочненной поверхности увеличивается в 2-3 раза, в условиях сухого трения-скольжения стойкость упрочненной стали 45 увеличивается на два порядка.



Рисунок 8. Комплект пальцев, отработавших навигацию

На рисунке 8 показан комплект пальцев земснаряда ПЧС-600 (вес около 10 т), отработавших навигацию на добыче песчано-гравийной смеси, на строительстве моста через р. Кама с наработкой 1 млн т. Пальцы обеспечили безостановочную работу в течение всего срока с благоприятной динамикой без укорочения цепи из-за отсутствия износа сочленений.

Причиной выхода из строя порядка 20% пальцев из-за аномального износа до 3-4 мм явилось вытягивание проушин цепи и растрескивание втулок не прошедших термообработку.

В результате исследований получено сопряжение «палец-втулка», обладающее высокой износостойкостью в широком диапазоне разрушающего действия внешней среды.

Устранение основных недостатков износостойких аустенитных сплавов: дорогостоящего легирования марганцем, никелем, наличия карбидов усугубляющих в отдельных случаях процессы износа, необходимости термообработки пальцев, все совместно с перечисленными особенностями новой технологии делает её незаменимым средством, существенно расширяя технологические возможности производства в борьбе с износом.

Выводы

1. Впервые в промышленных масштабах, без ограничения размеров, на обычных сталях получены износостойкие структуры наноразмерного диапазона.

2. Технология позволяет заменить дорогостоящую экологически опасную сталь 110Г13 в узлах интенсивного износа на обычную сталь 45,40Х с упрочнением.

3. Технология обеспечивает импортозамещение с большим экономическим, техническим, экологическим и социальным эффектом.

4. Износостойкость сочленений черпаковой цепи с упрочнением работающих в тяжелых условиях абразивного износа в сравнении с ранее применяемой сталью повысилась на порядок с возможностью повторного применения.

5. Сопряжение «палец-втулка» в сочетании с упрочнением поверхности пальца по новой технологии может быть рекомендовано для изготовления кинематических пар в различных отраслях промышленности в условиях экстремального износа.

6. Обоснованность применения экологически опасных сталей должна проверяться службами экологического надзора.

Список используемых источников

1 Булгаков В. П., Уксунов Л. А., Цапко Л. А. Критерии выбора материала для шарнирных соединений черпаков земснарядов //Вестник Астраханского гос. техн. ун-та. 2011. № 3. С.141-143. (Сер.: Морская техника и технология)

2 Булгаков В. П., Уксунов Л. А., Цапко Л. А. Повышение долговечности узла крепления черпаков дноуглубительного земснаряда // Вестник Астраханского гос. техн. ун-та. Сер.: Морская техника и технология. 2010. № 2. С. 7-8.

3 Максимов А. А., Вольферц С. А., Осак С. А. Наплавка деталей черпаковой цепи драги 250Л // Ползуновский Альманах. 2004. № 4. С.165.

4 Загорский В. К., Загорский Я. В., Кусова И. В. Технология производства деталей земснарядов как средство обеспечения их экологической безопасности и социально–экономической эффективности //Гидротехника. 2014. № 4. С.74-77.

5 Загорский В. К. Технология упрочнения пальцев черпаковой цепи земснарядов //Гидротехника XXI век. 2015. № 1. С.65-69.

6 Загорский В. К., Загорский В. Я., Кусова И. В. Экологическая и экономическая эффективность технологии поверхностного упрочнения изнашивающихся деталей //Экологический вестник России. 2014. № 3. С.52-57.

7 Загорский Я. В., Загорский В. К., Попова С. В. Механизм упрочнения деталей машин электродуговым методом: материалы 11-й Междунар. науч.-практ. конф. 14-17 апр. г. Санкт-Петербург. 2009. Ч. 2. С.119-122.

8 Богатство наномира. Фоторепортаж из глубины вещества / Е. А. Гудилин и др./ под ред. Ю. Д. Третьякова. 2013. С.171 (Нанотехнологии).

References

1 Bulgakov V. P., Uksunov L. A., Tsapko L. A. Kriterii vyibora materiala dlya sharnirnyih soedineniy cherpakov zemsnyaradov //Vestnik Astrahanskogo gos. tehn. un-ta. Ser.: Morskaya tehnika i tehnologiya, 2011. № 3. S.141-143. [in Russian].

2 Bulgakov V. P., Uksunov L. A., Tsapko L. A. Povyishenie dolgovechnosti uzla krepleniya cherpakov dnouglubitelnogo zemsnyarada // Vestnik Astrahanskogo gos. tehn. un-ta. Ser.: Morskaya tehnika i tehnologiya. 2010. № 2. S. 7-8. [in Russian].

3 Maksimov A. A., Volferts S. A., Osak S. A. Naplavka detaley cherpakovoy tsepi dragi 250L // Polzunovskiy Almanah. 2004. № 4. S.165. [in Russian].

4 Zagorskiy V. K., Zagorskiy Ya. V., Kusova I. V. Tehnologiya proizvodstva detaley zemsnyaradov kak sredstvo obespecheniya ih ekologicheskoy bezopasnosti i sotsialno–ekonomicheskoy effektivnosti //Gidrotehnika. 2014. № 4. S.74-77. [in Russian].

5 Zagorskiy V. K. Tehnologiya uprochneniya paltsev cherpakovoy tsepi zemsnyaradov //Gidrotehnika XXI vek. 2015. № 1. S.65-69. [in Russian].

6 Zagorskiy V. K., Zagorskiy V. Ya., Kusova I. V. Ekologicheskaya i ekonomicheskaya effektivnost tehnologii poverhnostnogo uprochneniya iznashivayuschihsya detaley //Ekologicheskiy vestnik Rossii. 2014. № 3. S.52-57. [in Russian].

7 Zagorskiy Ya. V., Zagorskiy V. K., Popova S. V. Mehanizm uprochneniya detaley mashin elektrodugovym metodom: materialyi 11-y Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. 14-17 apr. g. Sankt-Peterburg. 2009. Ch. 2. S.119-122. [in Russian].

8 Bogatstvo nanomira. Fotoreportazh iz glubinyi veschestva / Gudilin E. A. i dr./ pod red. Yu. D. Tretyakova. 2013. S.171 (Nanotehnologii). [in Russian].

Сведения об авторах

About the authors

Загорский Я. В., канд. техн. наук, ст. научный сотрудник, ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

J. V. Zagorski, Candidate of Engineering Sciences, Senior Researcher FSBEI HPE USPTU, Ufa, the Russian Federation

Загорский В. К., д-р техн. наук, профессор кафедры «Механика и конструирование машин, ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

V. K. Zagorski, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Chair “Mechanics and Construction Machines” FSBEI HPE USPTU, Ufa, the Russian Federation

e-mail: kalkutta@mail.ru

Кусова И. В., канд. техн. наук, доцент кафедры безопасности производства и пром. экологии, ФГБОУ ВПО УГАТУ, г. Уфа, Российская Федерация

I. V. Kusova, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Chair “Production Safety and Industrial Ecology” FSBEI HPE USATU, Ufa, the Russian Federation