

## Резюме проекта, выполняемого

в рамках ФЦП

«Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020 годы»

по этапу № 3

Номер Соглашения о предоставлении субсидии: 14.579.21.0003

Тема: « Создание нового поколения штампуемых наноструктурированных сталей с пределом текучести 1200-1700 МПа, технологий их деформационной обработки и нанесения износостойких покрытий в обеспечение изготовления сельскохозяйственной техники с повышенным сроком эксплуатации »

Приоритетное направление: Индустрия наносистем

Критическая технология: Технологии получения и обработки конструкционных наноматериалов

Период выполнения: 05.06.2014 - 31.12.2016

Плановое финансирование проекта: 83.60 млн. руб.

Бюджетные средства 41.10 млн. руб.,

Внебюджетные средства 42.50 млн. руб.

Получатель: Федеральное государственное унитарное предприятие "Центральный научно-исследовательский институт конструкционных материалов "Прометей"

Индустриальный партнер: Открытое акционерное общество Ремонтно-техническое предприятие "Петровское"

Ключевые слова: СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ МАШИНЫ, СТАЛИ С ПРЕДЕЛОМ ТЕКУЧЕСТИ 1200-1700 МПа, ГОРЯЧАЯ ПРОКАТКА, ГОРЯЧАЯ ШТАМПОВКА, ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА, СРОК ЭКСПЛУАТАЦИИ, ШТАМПОВАЯ ОСНАСТКА, ИЗНОСОСТОЙКИЕ ПОКРЫТИЯ, ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО.

### 1. Цель проекта

1. Проект направлен на создание нового поколения высокопрочных износостойких сталей и технологии их изготовления и обработки.

Для роста производства сельскохозяйственной продукции в РФ и сокращения импорта необходима современная сельскохозяйственная техника, имеющая ресурс в 3-8 раз выше по сравнению с производимой промышленностью в настоящее время. Закупки сельхозмашин зарубежного производства (комбайны, трактора и др.), а также приобретение импортных запасных деталей из износостойких материалов, годовая потребность в которых оценивается: в лемехах – 7 млн шт., в полевых досках – 3 млн, в отвалах – 2,4 млн шт., существенно повышают себестоимость сельхозпродукции. От использования сверхдорогой импортной техники или некачественных отечественных аналогов наша страна несет экономические потери, исчисляемые несколькими миллиардами долларов в год.

На сегодняшний день производство высокопрочных износостойких материалов для сельскохозяйственного машиностроения в РФ переживает кризис, так как разработанные более 30 лет назад стали указанного назначения не удовлетворяют современным требованиям ни по качеству, ни по ресурсу эксплуатации. За прошедшие десятилетия конструкция и материалы рабочих органов отечественных почвообрабатывающих машин остались практически неизменными, хотя нагрузки на них выросли не менее чем в 4 раза, поэтому устаревшая отечественная техника требует постоянного дорогостоящего ремонта. Серьезное отставание РФ в данной сфере привело к повышению доли импортной продукции на рынке сельскохозяйственной техники. Ресурс высоконагруженных деталей пахотных агрегатов зарубежного производства более чем вдвое превышает отечественные аналоги.

Существует серьезная научно-техническая проблема, связанная с низким уровнем сельскохозяйственных агрегатов в целом и тяжело нагруженных деталей, эксплуатирующихся при высоких ударно-абразивных нагрузках, без которых невозможна разработка новых сельскохозяйственных технологий и конкурентоспособных сельхозмашин. Принципиальным решением проблемы является использование новых материалов, в том числе наноструктурированных, т.е. создание нового поколения сталей с пределом текучести свыше 1200 МПа и технологий их производства, включая технологии нанесения износостойких покрытий различными методами, которые позволят увеличить срок эксплуатации в 5 и более раз по сравнению с существующими аналогами. Поэтому материаловедческое направление новых разработок (новые стали, твердосплавные покрытия, металлургические технологии изготовления и обработки изделий) для ответственных деталей сельскохозяйственных и других типов машин является наиболее перспективным и важным.

2. Цель реализуемого проекта - разработка высокопрочных сталей с пределом текучести 1200-1700 МПа и технологий их производства для повышения срока эксплуатации высоконагруженных деталей почвообрабатывающих, посевных кормоуборочных, овощеуборочных и других сельхозмашин более чем в 5 раз за счет управления структурообразующими процессами при горячей деформации, оптимизации формы конечных изделий и нанесения износостойких покрытий.

## 2. Основные результаты проекта

1. На 2 различных видах штампового оборудования изготовлены экспериментальные образцы заготовок, штампованных на паровоздушном молоте с использованием штамповой оснастки, в количестве 70 штук и экспериментальные образцы заготовок, штампованных на гибочных штампах соисполнителя (ФГБНУ "ВИМ"), в количестве 98 штук для проведения исследовательских испытаний и изготовления готовых деталей.
2. С положительными результатами выполнены исследовательские испытания штампованных заготовок из новых сталей.
3. Изготовлены детали с износостойким покрытием, нанесенным плазменной наплавкой в количестве 3 штук, а также 9 деталей с износостойким покрытием, нанесенным лазерной наплавкой для проверки эксплуатационных свойств готовых деталей. Изготовлены детали для проведения натурных испытаний на 4 этапе проекта.
4. Исследовательские испытания деталей с износостойкими покрытиями, нанесенными лазерной и плазменной наплавкой, подтвердили их полное соответствие требованиям ТЗ.
5. Разработана методика измерения адгезионной прочности сцепления покрытия, выполненного лазерной наплавкой, с основным металлом из высокопрочной среднеуглеродистой стали, для оценки качества изготовления деталей рабочих органов сельхозагрегатов.
6. В рамках участия в мероприятиях, направленных на освещение и популяризацию промежуточных результатов ПНИ, в 3 этапе было сделано семь докладов по тематике проекта на различных конференциях (в том числе международных), семинарах и выставках России, а в 2015 году в целом - 10.

Основные научные результаты:

1. После горячей деформации со скоростью  $100\text{с}^{-1}$  при температурах 950 и 1100°C и охлаждения, имитирующих процесс штамповки на молоте, в стали формируется речный мартенсит со средним размером структурных элементов 1,5-2,5 мкм. Размер аустенитного зерна стали Б1500 после горячей деформации со скоростью  $100\text{с}^{-1}$  при температуре 1100°C составляет 15 мкм, при температуре 950°C – 8 мкм, тогда как после нагрева до 1200°C он достигает 110 мкм. Степень упругих искажений кристаллической решетки, исследованных с помощью кристаллографического анализа микроструктуры методом дифракции обратно рассеянных электронов (EBSD, функция GAM), которые косвенно свидетельствуют о высокой плотности дислокаций, зависит от температуры деформации, которая либо вызывает рекристаллизацию, либо приводит к накоплению дефектов.
2. Проведение закалки после горячей деформации со скоростью  $100\text{с}^{-1}$  приводит к изменению структуры стали в зависимости от температуры предшествующей обработки. После горячей деформации при 1100°C со скоростью  $100\text{с}^{-1}$  и закалки при 900°C происходит значительное увеличение размера аустенитного зерна (с 15 до 40 мкм) и мартенситных блоков (с 2,5 до 4 мкм), огрубление структуры, в том числе рост искаженности мартенсита, что связано с влиянием размера зерна на устойчивость аустенита к превращению. После горячей деформации со скоростью  $100\text{с}^{-1}$  при температуре ниже температуры рекристаллизации – 950°C и закалки при 900°C также происходит увеличение размеров аустенитного зерна (с 8 до 15 мкм) и мартенситных блоков (от 1,5 до 2,5 мкм), однако менее интенсивное, что обусловлено протеканием преимущественно первичной рекристаллизации. Уровень искажений в мартенсите при этом почти в 2 раза ниже.
3. Структура острой кромки реальных деталей из стали марок Б1500 и Б1200, изготовленных на молотовом штампе с усилием 3000 т, после штамповки при температуре 1070°C с последующей закалкой при 900°C и низким отпуском состоит из речного мартенсита с размером мартенситных блоков 2,92 – 3,21 мкм и обеспечивает средние значения твердости 50,5 и 46 HRC соответственно.
4. Исследованы структура и свойства износостойких покрытий на основе железа при различных режимах лазерной наплавки. Основными дефектами макроструктуры покрытий, нанесенных лазерной наплавкой, являются поры и трещины. Наименьшее количество дефектов имеют образцы покрытий, изготовленные по режимам с небольшой скоростью сканирования лазерного пучка (0.0074 - 0.0148 м/с) при мощности излучения 340-460 Вт. Показано, что наиболее качественное покрытие формируется при минимальных скоростях сканирования лазерного луча, обеспечивая значения твердости 60-65 HRC, коэффициент износостойкости не менее 3,5 отн. ед. и высокую адгезионную прочность. Наличие пор снижает износостойкость и прочность наплавленного металла.
5. Исследования микроструктуры покрытий, изготовленных методом лазерной наплавки, и переходной зоны основного металла среднеуглеродистой высокопрочной стали показали наличие трех выраженных зон: зона литого металла, зона термического влияния (или переходная зона) размером 100÷300 мкм и зона основного металла. В наплавке присутствуют карбиды  $W_2C$  и  $Fe_6W_6C$ , обеспечивающие необходимое армирование матрицы для повышения износостойкости. Твердость по мере удаления от линии сплавления наплавки и основного металла снижается, что согласуется с уменьшением доли вольфрама и хрома при переходе от покрытия к основному металлу.

## 3. Охраноспособные результаты интеллектуальной деятельности (РИД), полученные в рамках прикладного научного исследования и экспериментальной разработки

Заявка на изобретение № 2015125002/20 от 24.06.2015г. "Высокопрочная износостойкая сталь для сельскохозяйственных машин", РФ

## 4. Назначение и область применения результатов проекта

1) Областью применения полученных результатов является сельскохозяйственное машиностроение, а именно износостойкие детали рабочих органов почвообрабатывающих, посевных кормоуборочных, овощеуборочных и других сельхозмашин. Кроме того, результаты ПНИ будут способствовать развитию смежных отраслей: механизация лесного хозяйства, механизация коммунального хозяйства, дорожного машиностроения, строительной отрасли и др.

2) Результаты, полученные по завершению проекта, будут внедрены на АО Ремонтно-техническом предприятии "Петровское" (Ставропольский край, Петровский район, г. Светлоград.), которое является Индустриальным Партнером по проекту. Кроме того, рассматриваются другие предприятия, заинтересованные во внедрении новых износостойких материалов и технологий производства штампованных деталей сельскохозяйственного назначения.

3) Результаты проекта могут быть использованы для проведения опытно-конструкторских и опытно-технологических, в том числе внедренческих, работ, направленных на создание отечественного конкурентоспособного опытно-промышленного производства износостойких деталей с повышенными эксплуатационными характеристиками в различных отраслях (сельское, дорожное, лесное и коммунальное хозяйство, сельхозмашиностроение и др.).

Учитывая, что потребность в деталях для почвообрабатывающих машин (долото, лемех, нож, лапа культиватора и др.) составляет более 7 млн. шт. деталей в год, перспективы коммерциализации разработки весьма существенны. В рамках ПНИ планируется разработка рекомендаций по внедрению разработанных материалов и технологических процессов изготовления и упрочнения ответственных нагруженных деталей сельхозмашин в отечественной промышленности, для малых и средних предприятий.

По экспертным оценкам, рынок сельскохозяйственной техники весьма стабилен, а парк машин значительно изношен и будет в ближайшие годы наращиваться для обеспечения национальной безопасности при снабжении населения продовольствием. В этой связи проблема импортозамещения, на которую и направлен настоящий проект, является особенно актуальной. Структура потребления износостойких деталей рабочих органов сельскохозяйственных машин будет изменена в сторону увеличения доли продукции отечественного производства.

Полученные новые научные знания в области создания новых марок износостойких сталей и технологических особенностей их обработки, твердосплавных покрытий и способов их нанесения могут быть использованы при решении ряда научно-практических задач, поставленных технологической платформой, по разработке нового поколения материалов с повышенными служебными свойствами и изучению теоретических основ их совершенствования, в частности, в триботехнике. Развитие исследований в рамках международного сотрудничества целесообразно для стран, заинтересованных в развитии сельского хозяйства (Китай, Индия, Бразилия, Аргентина, Белоруссия и др.).

## **5. Эффекты от внедрения результатов проекта**

Использование разработанных сталей и технологии дальнейшего производства деталей сельхозтехники обеспечивает сравнимую с аналогами цену, ресурс деталей увеличивается до 10 раз, а также снижается металлоемкость изделий примерно на 10-20%.

## **6. Формы и объемы коммерциализации результатов проекта**

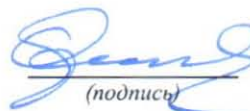
Коммерциализация результатов проекта возможна с помощью лицензионных соглашений, заключаемых с крупными металлургическими предприятиями, изготавливающими листовую прокат по предложенному химическому составу. А также через заключение лицензионных соглашений с предприятиями-потребителями листового проката на использование технологических решений при производстве деталей из новых сталей. Подробный анализ рынка будет проведен на 4 этапе проекта.

## **7. Наличие соисполнителей**

Соисполнителем по проекту является Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства», привлекающееся к выполнению работ с 05.06.2014г.

Федеральное государственное унитарное предприятие  
"Центральный научно-исследовательский институт  
конструкционных материалов "Прометей"

Генеральный директор  
*(должность)*

  
*(подпись)*

Орыщенко А.С.  
*(фамилия, имя, отчество)*

Руководитель работ по проекту

Заместитель начальника НПК-3, начальник  
лаборатории №32  
*(должность)*

  
*(подпись)*

Хлусова Е.И.  
*(фамилия, имя, отчество)*

М.П.

