**Резюме проекта, выполняемого**

**в рамках ФЦП**

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

по этапу № 5

**Номер Соглашения о предоставлении субсидии:** 14.604.21.0091 от 08 июля 2014 г.

**Тема:** «Разработка научных основ высокоэффективной технологии и оборудования для изготовления в условиях сверхпластичности широкой номенклатуры полых валов газотурбинных двигателей из жаропрочных сплавов и сталей»

**Приоритетное направление: Транспортные** и космические системы

**Критическая технология: Технологии** создания ракетно-космической и транспортной техники нового поколения

**Период выполнения:** 08.07.2014 - 31.12.2016

**Плановое финансирование проекта: Бюджетные** средства ‑ 25 млн. руб., внебюджетные средства ‑ 8 млн. руб.

**Исполнитель:** Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (ИМАШ РАН).

**Индустриальный партнер:** Общество с ограниченной ответственностью «Савеловский машиностроительный завод» (ООО «СМЗ»)

**Ключевые слова:** газотурбинный двигатель, полый вал, жаропрочные никелевые сплавы, высокопрочная сталь, ультрамелкозернистая структура, математическое моделирование, эскизная конструкторская документация, раскатка, головка раскатная, инструментальный узел, охлаждаемый шпиндельный узел, прижим, оправка, раскатной ролик, сверхпластичность, камера нагрева, макет стана для раскатки валов.

1. **Цель прикладного научного исследования и экспериментальной разработки**

1.1 Реализация проекта направлена на решение проблемысоздания высокоэффективного производства полых длинномерных валов широкой номенклатуры для роторов авиационных двигателей и наземных энергетических установок, обладающих высокими эксплуатационными характеристиками, из сталей и жаропрочных сплавов на основе титана и никеля.

1.2Целью проекта является разработка инновационной технологии и оборудования для раскатки широкой номенклатуры ответственных деталей - полых валов из современных жаропрочных сталей и сплавов для газотурбинных двигателей нового поколения, позволяющих значительно увеличить ресурс валов и коэффициент использования металла при их изготовлении.

1.3 Реализация проекта позволит разработать конкурентоспособные технологии сверхпластической раскатки полых валов ГТД из стали и жаропрочных сплавов, а также техническое задание на создание специализированного оборудования для производства указанных деталей.

1. **Основные результаты проекта**

Результаты, полученные на этапе 1:

1 Теоретически обоснованы термомеханические, кинематические и энергосиловые режимы процесса раскатки.

2 Теоретически определены условия деформирования при раскатке, влияющие на структурообразование.

3 Результаты теоретических исследований позволили обосновать параметры режима раскатки в условиях сверхпластичности.

4 Разработана методика выбора формы и размеров исходной заготовки для раскатки экспериментальных образцов вала.

Результаты, полученные на этапе 2:

1 Разработана эскизная конструкторская и эксплуатационная документация на Макет СРВ и его основные узлы.

2 Проведен расчет кинематических, термомеханических и энергосиловых параметров процесса раскатки.

3 Разработаны модели получения УМЗ структуры в жаропрочных сплавах и сталях при реализации процесса рекристаллизации.

4 Разработаны и обоснованы математические модели, обеспечивающие расчет размеров и процентного содержания зерен размером меньше 10 мкм вплоть до 3-4 мкм при определении режимов деформационно-термической обработки.

2.6 Опубликованы 2 статьи в научных журналах, индексируемых в базе данных Scopus и Web of Sciens:

- Mukhtarov Sh. Kh., Utyashev F. Z., Sukhorukov R. Yu. Influence of the Deformational Heat Treatment on the Structure and Mechanical Properties of Nickel–Iron Alloy. // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. - 2015,. - Vol. 44, No. 1. С*.* 33–39.

- Utyashev F. Z., Sukhorukov R. U., Nazarov A.A., Potekaev A.I. The Values of Strain Components and Their Role in Formation of Ultrafine-Grained and Nanosized Structure in Materials by Means of Severe Plastic Deformation. // Russian Physics Journal. – January, 2015. - No. 1. С. 64-71

Результаты, полученные на этапе 3:

1 Проведена верификация режимов обработки, обеспечивающих подготовку УМЗ структуры в промышленных сплавах. Для верификации были подготовлены образцы из никелевых сплавов ЭИ698, ЭК79, ЭП742.

2 Произведена верификация на лабораторном оборудовании режима окончательной термической обработки. Температура деформации составляла для сплава ЭП742 1050±25оС, для сплава ЭК79 1075±25оС. Заготовка с предварительно подготовленной структурой деформировалась на степень 50-70% со скоростью 10-2с-1.

3 Для двух типов валов была разработана ЭКД заготовок из промышленных сплавов и модельного сплава Вуда. Размеры заготовок устанавливались исходя из постоянства объёма материала детали с учётом допусков и припусков и материала заготовки.

4 На лабораторном оборудовании была осуществлена верификация режимов раскатки заготовок валов из модельного сплава. Предзаготовка для вала №1 представлена в виде диска толщиной 16 мм с бобышкой в центре толщиной 30 мм и диаметром 100 мм, что позволило из заготовки с рабочим углом 15о за четыре перехода получить вал №1.

5 Из промышленных сплавов были изготовлены также предзаготовки и заготовки в условиях сверхпластичности материала с использованием более мощного оборудования, в частности, пресса с усилием 16000 кН.

Результаты, полученные на этапе 4:

1 Изготовлена камера нагрева, обеспечивающая нагрев заготовки до температуры сверхпластичности промышленных сплавов типа ЭИ962-Ш (1050оС), поддержание рабочей температуры в течение времени раскатки и обеспечение равномерного распределения требуемой температуры в объёме КН в пределах ±10оС.

2 Изготовлены инструментальный и охлаждаемый шпиндельный узлы, в которых обеспечивается требуемая для процесса формообразования температура рабочей поверхности ролика раскатного и опорной поверхности оправки, т.е. на 100-150оС ниже температуры внутри печи. Это исключает возможность деформации ролика раскатного и оправки и обеспечивает реализацию процесса раскатки, а также требуемую наработку на отказ (до 1000 часов).

3 Осуществлена сборка и наладка Макета СРВ. По разработанным программам и методикам были проведены исследовательские испытания инструментального и шпиндельного узлов и Макета СРВ в целом. Результаты исследовательских испытаний позволили определить термомеханические, энергосиловые параметры Макета в целом, а также камеры нагрева, инструментального и шпиндельного узлов и готовность к проведению раскатки модельных валов из промышленных сплавов.

4 На Макете СРВ были изготовлены два модельных вала из листового материала ЭИ962-Ш. Предзаготовки были вырезаны из листа и выполнены механообработкой на токарном станке. Окончательные заготовки получены после деформации на прессе с целью образования конусной части (15о) под раскатку на Макете СРВ.

Опубликованы 2 статьи в научных журналах, индексируемых в базе данных Scopus

- Utyashev F. Z., Sukhorukov R. Yu., Samarukov G. V., Nagimov M. I. Specific Features of Rolling of Shaft of Gas Turbine Engine under Conditions of Superplasticity // Journal of Machinery Manufacture and Reliability, 2016, Vol.45, No. 1, р. 65-72

- Utyashev, R. Mulyukov, R. Sukhorukov, V. Valitov. New technologies development and equipment for local shape-forming of the complicated parts made of heat-resistant alloys under superplastic deformation conditions // Materials Science Forum, 2016, том 838-839, p. 615-620

Результаты, полученные на этапе 5:

1 Разработан лабораторный регламент технологического процесса изготовления валов ГТД методом раскатки в изотермических и сверх пластических условиях.

2 Разработаны технические требования и предложения по использованию результатов ПНИ  для организации производства оборудования для раскатки с учётом технологических возможностей и особенностей Индустриального партнера.

3 Проведена технико-экономическая оценка результатов проекта.

4 Разработано ТЗ на ОКР по теме: "Разработка технологии и оборудования для раскатки высокоресурсных полых валов из жаропрочных сплавов и сталей в условиях сверхпластичности для ГТД нового поколения"

Опубликованы 2 статьи в научных журналах, индексируемых в базе данных Scopus:

- Burlakov I.A., Valitov V.A., Ganeev A.A., Zabel’yan D.M., Morozov S.V., Sukhorukov R.Yu., Utyashev F.Z. Modeling the Structure Formation during Hot Deforming the Billets of the Parts of Gas-Turbine Engines Made of Heat-Resistant Nickel Alloy // Journal of Machinery Manufacture and Reliability, 2016, Vol. 45, No. 5, pp. 469–475.

- Sukhorukov R. Yu., Sidorov A. A., Alimov A. I., Nagimov M. I., .Mukhtarov Sh. Kh,, Utyashev F. Z. Physical and Numerical Modeling of the Process of Rolling Off of a Tapered Shaft of Aviation Purpose // Journal of Machinery Manufacture and Reliability, 2016, Vol. 45, No. 6, pp. 538–545.

**3. Охраноспособные результаты интеллектуальной деятельности (РИД), полученные в рамках прикладного научного исследования и экспериментальной разработки[[1]](#footnote-1)**

Полезная модель, заявка № 2016113985 от 12.04.2016 г. «Стан для раскатки деталей», РФ

Полезная модель, патент № 159169 от 12.01.2016 г. «Стан для раскатки деталей типа тел вращения», РФ

Полезная модель, заявка № 2016136087 от 07.09.2016 г. «Стан для раскатки полых валов из жаропрочных сплавов», РФ

**4. Назначение и область применения результатов проекта**

1) Полученные результаты будут использованы в прикладных научных исследованиях и промышленности, в частности, при формировании УМЗ структуры в различных жаропрочных сплавах с целью получения уникальных свойств по прочности и жаропрочности изделий; в авиационной промышленности - для изготовления полых валов газотурбинных двигателей нового поколения; в народном хозяйстве - для изготовления ответственных деталей для наземных газотурбинных установок.

2). Лабораторный регламент может быть использован для изготовления экспериментальной партии осесимметричных деталей из жаропрочной стали ЭИ962-Ш в изотермических условиях (от изготовления заготовок до получения готовой детали с однородной структурой), а также может быть использован как основа при разработке промышленной технологии изготовления деталей типа "полый вал" методом раскатки.   
 3) Разработанные в проекте методики могут быть рекомендованы для определения требуемых термомеханических и энергосиловых параметров при проектировании оборудования, а Макет стана СРВ может использоваться для отработки технологии и выбора оптимальных параметров процесса раскатки осесимметричных деталей из жаропрочных сплавов в условиях сверхпластичности.

4) Разработанное техническое задание на ОКР моет быть использовано для организации производства оборудования для формообразования деталей из жаропрочных сплавов и сталей в условиях сверхпластичности в интересах предприятий авиакосмической отрасли.

**5. Эффекты от внедрения результатов проекта**

1) Повышение механических характеристик материала полых валов на 10-15% и, соответственно, увеличение в 1,5 раза ресурса изделий.

2) Повышение КИМ в 2÷5 раз по сравнению с традиционными процессами горячей штамповки.

3) Снижение усилий в 100 - 1000 раз вследствие замены объемной штамповки раскаткой.

4) Получение однородной регламентированной структуры материала деталей из жаропрочных сплавов и сталей.

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

1) Возможной формой коммерциализации полученных результатов является разработка оборудования для изготовления полых валов при участии заинтересованных потребителей (предприятий, разрабатывающих и изготавливающих ГТД для различного применения), а также металлургических заводов, обеспечивающих полуфабрикатами предприятия оборонных отраслей.

2) Новой продукцией являются изделия, получаемые путем раскатки. В первую очередь, это полые валы, диски и обечайки ГТД. Раскатка обеспечивает получение высокопрочных и жаропрочных изделий, существенно повышающих технико-экономические показатели новых ГТД. Основой существенного продвижения полученных результатов является разработка технологии и изготовление стана для раскатки полых валов и дисков в условиях сверхпластичности соответствии с разработанным патентом.

**7. Наличие соисполнителей**

В 2014 году  в работе привлекались следующие соисполнители:

1. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем сверхпластичности металлов РАН (ИПСМ РАН), г. Уфа, договор №09-14/1 от 29.10.2014 г. (этап 1, 2014 г.).
2. ФГБОУ ВПО «УГАТУ», г. Уфа, договор о выполнении ПНИ № НИ-НЦ-36-14-ХГ от 05.11.2014.
3. ООО «Куранты», г. Москва, договор о выполнении ПНИ №31401686569 от 13.11.2014.

В 2015 году в работе привлекались следующие соисполнители:

1. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем сверхпластичности металлов РАН (ИПСМ РАН), г. Уфа, договор № 31502275929 от 22.04.2015 г., договор № 31502930961 от 12 ноября 2015 г.

2. ООО «Куранты», г. Москва, договор № 31502405576 от 29 мая 2015 г. и дополнительное соглашение № 1 от 28 сентября 2015 г. и договор № 31503045625 от 04.12.2015 г.).

В 2016 году в работе привлекались следующие исполнители:

1. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем сверхпластичности металлов Российской академии наук (ИПСМ РАН), г. Уфа, договор № 31603610969 от 29 апреля 2016 г., договор № 3160361 от 17 октября 2016 г.
2. Общество с ограниченной ответственностью «Терракота» (ООО «Терракота»), г. Уфа, договор № 31603413406 от 15 марта 2016 г.
3. ООО «Интерфейс ИСТ», г. Москва, договор № 09-14/2016-5 от 24 ноября 2016 г.



|  |
| --- |
| Временно исполняющий обязанности  директора ИМАШ РАН \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ В.А. Глазунов |
| Научный руководитель работ по проекту  Главный научный сотрудник \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Ф.З. Утяшев |
| М.П. |

1. См. ГК РФ часть 4, глава 69 статья 1225; глава 77 статья 1542; Постановление Правительства РФ № 622 от 18 августа 2008 г.; Приказ Министерства образования и науки №736 от 17 декабря 2009 г. [↑](#footnote-ref-1)