



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого»
(ФГАОУ ВО «СпбПУ»)

ИНН 7804040077, ОГРН 1027802505279,
ОКПО 02068574

Политехническая ул., 29, Санкт-Петербург, 195251
тел.: +7(812)297 2095, факс: +7(812)552 6080
office@spbstu.ru

Утверждаю
Проректор по научно-
исследовательской и организационной деятельности
д.т.н. доцент
Ю.С. Клочков
08 2022 г.



**Отзыв ведущей организации
на диссертационную работу Носовой Екатерины Александровны на тему
«Формирование в листах алюминиевых сплавов при термической и
деформационной обработке упорядоченной структуры для повышения
их штампуемости» представленную на соискание ученой степени
доктора технических наук по специальности 2.6.17. Материаловедение**

Актуальность темы исследования

Листовая штамповка в современном машиностроении является одним из сложных технологических процессов, требующим решения множества вопросов, включая разработку последовательности технологических операций, деформационно- силовых параметров, пригодности листовых материалов к выбранным технологическим операциям. Зачастую требования к материалам, необходимые для одних операций, вызывают противоречия для других. Эти требования к свойствам листовых материалов обеспечиваются особенностями микроструктуры. В деформируемых алюминиевых сплавах, поставляемых современными производителями в виде листов, к таким особенностям микроструктуры относятся размер зерна и его однородность, фазовый состав и характер распределение упрочняющих фаз внутри твёрдого раствора, кристаллографическая текстура. Перечисленные структурные особенности могут изменяться в одном и том же материале в зависимости от его состояния, - литое, гомогенизированное, горячее или холодно деформированное, сочетания параметров деформирования и режимов термической обработки. Однако степень влияния различных особенностей структуры на штампуемость листовых материалов, в том числе алюминиевых сплавов на сегодняшний день не установлена.

Диссертационная работа «Формирование в листах алюминиевых сплавов при термической и деформационной обработке упорядоченной структуры для повышения их штампуемости» Носовой Е.А. направлена на

разработку режимов получения и установление закономерностей влияния упорядоченной структуры на технологические свойства листовых алюминиевых сплавов, предназначенных для изготовления деталей методами листовой штамповки. В диссертации разработаны способы количественной оценки размера зерна, разнозернистости, распределения фаз и кристаллографической текстуры, структурной энтропии, заключающихся в микроструктурном анализе и статистической обработке количественных данных сплавов, принадлежащих к системам легирования Al-Mn, Al-Mg и Al-Cu-Mg. Развиты теоретические основы повышения технологичности листовых алюминиевых сплавов для деталей автомобильной и аэрокосмической отрасли путём формирования упорядоченной структуры в процессе деформационной и термической обработки. Установлены закономерности изменения структуры и свойств листовых алюминиевых сплавов систем легирования Al-Mn, Al-Mg и Al-Cu-Mg при деформировании и термической обработке. Научно обоснованы закономерности и механизмы структурообразования при технологическом переделе деформируемых алюминиевых сплавов, зависимости технологических свойств листовых алюминиевых сплавов от размера зерна, однородности зёрненной структуры, фазового состава и распределения фаз, кристаллографической текстуры, структурной энтропии.

В связи с вышеперечисленным, диссертационная работа Носовой Е.А., в которой решается задача формирования в листах алюминиевых сплавов при термической и деформационной обработке упорядоченной структуры для повышения их штампуемости является актуальной и имеет важное практическое значение для производства штампованных изделий из алюминиевых сплавов.

Научная новизна

Научная новизна результатов, полученных Носовой Е.А. в ходе диссертационного исследования, заключается в следующем.

1. Созданы научно обоснованные технические и технологические решения в области формирования упорядоченной структуры листовых алюминиевых сплавов, базирующиеся на выявленных закономерностях их преобразования при пластическом деформировании и термической обработке и обеспечивающие возможность создания материалов с повышенными характеристиками штампуемости.

2. Разработан метод интерпретации реальной структуры листовых алюминиевых сплавов при помощи структурной энтропии, обеспечивающий количественную оценку влияния химического и фазового состава сплавов, режима и схемы напряжённо-деформированного состояния, исходного состояния поставки листовых материалов на их способность к последующему деформированию.

3. Установлено, что в процессе холодной прокатки происходит уменьшение структурной энтропии, связанное с упорядочиванием структуры, определяемой преимущественной ориентировкой кристаллографических плоскостей твердого раствора и упрочняющих фаз. При этом последующий отжиг вызывает снижение степени упорядочения структуры на этапе возврата и рекристаллизации, за счёт уменьшения энтропии по окончании первичной рекристаллизации и увеличения энтропии на этапе собирательной рекристаллизации.

4. Впервые показано, что структурная энтропия, рассчитанная на основании аппроксимации кривых растяжения, позволяет разделить стадии старения и структурные превращения, происходящие на его этапах. Предложенный подход позволил провести этот анализ и для этапа зонного старения, как наиболее трудоёмкий с позиции структурного анализа.

5. Установлена взаимосвязь влияния структурных изменений листовых алюминиевых сплавов, полученных ими в процессе технологического цикла изготовления деталей методами листовой штамповки, на технологические свойства.

Теоретическая и практическая значимость

В рамках диссертационной работы:

- Установлена взаимосвязь структурной энтропии с механическими и технологическими свойствами сплавов, позволяющая выявить наиболее значимые особенности структуры, влияющие на штампуемость листов. Разработанная расчетная модель позволяет формировать требуемые структуру и технологические свойства в полуфабрикатах из сплавов систем Al-Mg и Al-Cu-Mg.

- Разработаны «Способ количественной оценки неоднородности зёрненной структуры листовых металлических материалов», «Способ количественной оценки распределения упрочняющих фаз листовых алюминиевых сплавов» и «База данных технологических свойств для слоистых композиционных материалов на основе алюминиевых сплавов АМг2 и 1420». Получены два патента РФ на изобретения и одна база данных.

- Результаты диссертации использованы при проектировании и изготовлении штампованных изделий из листовых алюминиевых сплавов на АО «Авиакор-Авиационный завод», ООО «Зетта», ООО «Гидравлика», ПАО ОДК «Кузнецова», ООО «Димитровградский металлургический завод», а также в качестве методических материалов при чтении лекций, проведении лабораторных работ и подготовке выпускных квалификационных работ бакалавров по направлениям 22.03.02 - Металлургия и 15.03.02- Машиностроение и магистров по направлению 22.04.02- Металлургия.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Результаты и выводы диссертации рекомендуется использовать в научных коллективах учебных заведений, проектных и производственных организаций, занимающихся вопросами листовой штамповки алюминиевых сплавов, слоистых композиционных материалов на их основе и многослойных материалов, представляющих собой чередование слоёв одного и того же сплава или сплавов различного состава. К ним относятся Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», Самарский университет, Московский авиационный институт, Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, Сибирский государственный индустриальный университет, Уфимский государственный авиационный технический университет и др.

Рекомендуется использование результатов и выводов диссертации на предприятиях машиностроительного и авиастроительного профиля и в учебном процессе при подготовке студентов и аспирантов по укрупненным группам направлений 15.00.00 Машиностроение, 22.00.00 Технологии материалов, 28.00.00 Наноинженерия.

Структура и содержание работы

Представленная работа состоит из введения пяти глав, заключения, списка цитируемой литературы и приложения; изложена на 321 странице, включает 161 рисунок, 18 таблиц и список литературы из 305 наименований.

В введении обоснована актуальность темы диссертационной работы и применения деформационной и термической обработки для обеспечения требуемых технологических свойств в листовых алюминиевых сплавах за счёт формирования упорядоченной структуры. Отражена степень разработанности темы, сформулированы цель и задачи исследований, приведены научная новизна, методология и методы исследования, положения, выносимые на защиту, теоретическая и практическая значимость работы, достоверность результатов исследований, апробация и объем работы.

В первой главе проведен анализ литературных источников, посвященных особенностям структуры листовых алюминиевых сплавов и их влияния на штампуемость. Дано определение штампуемости, охарактеризованы её значение для производства изделий из алюминиевых сплавов, а также способы её оценки для различных операций листовой штамповки. Представлена энтропийная концепция пластичности, в которой показаны структурный подход к описанию свойств деформированного металла, формирование структуры при пластическом деформировании, экспериментально-аналитические методы определения структурной

энтропии. Рассмотрено влияние толщины листовых заготовок, химического состава, зёрненной структуры, фазового состава и кристаллографической текстуры на штампуемость листовых алюминиевых сплавов. Отмечена роль и достижения отечественных и зарубежных исследователей в повышении штампуемости листовых алюминиевых сплавов за счёт формирования в них требуемой структуры.

Во второй главе представлена расчётная модель формирования требуемой зерненной структуры, состава и распределения дисперсных фаз, кристаллографической текстуры и структурной энтропии в сплавах систем Al-Mg (AMg5, AMg6, AMg10) и Al-Cu-Mg (Д16). Разработанная расчётная модель процесса статической рекристаллизации показала возможность формирования в листовых алюминиевых сплавах требуемого однородного размера зерна с учётом химического состава сплава, степени деформации, температуры и продолжительности отжига.

Выявлено, что исходный размер зерна в раскате из алюминиевых сплавов оказывает влияние на размер зерна после рекристаллизации. На основе расчёта энтропии, вызванной зарождением и ростом новых равноосных зёрен взамен деформированной структуры в процессе рекристаллизации, выявлено, что на этапе первичной рекристаллизации происходит рост структурной энтропии, вызванный устраниением вытянутых зёрен, образованных в листах при холодной прокатке, и возникновением равноосных рекристаллизованных зёрен. Проведено сравнение уровня структурной энтропии при затухающей скорости миграции границ зёрен и постоянной скорости роста зёрен. Структурная энтропия, вызванная неоднородностью размера зерна, достигает максимума в тот момент, когда продолжительность выдержки при отжиге составляет 0,73 от полной продолжительности первичной рекристаллизации в случае, если скорость роста зёрен постоянна. При затухающем характере скорости роста зерна, относительное время достижения максимума структурной энтропии, вызванной разнозернистостью, составляет 0,4. Наиболее упорядоченная структура с минимальным значением энтропии формируется в листовых образцах при отжиге в finale первичной рекристаллизации.

Результаты исследования показали, что расчётные значения размеров зёрен совпадают с результатами, полученными экспериментально после прокатки и отжига листовых образцов из сплавов AMg6 и Д16. Отклонения составляют около 7-8%, которые можно объяснить погрешностью измерений, а также тем, что при выборе аппроксимирующих уравнений для получения расчётной модели, коэффициент корреляции с экспериментальными точками не достигал 100% совпадения.

Состав упрочняющих фаз, образующихся при отжиге алюминиевых сплавов, состоит преимущественно из смеси соединений $\theta(\text{Al}_2\text{Cu})$, S (Al_2CuMg) в сплавах системы Al-Cu-Mg и соединения $\beta(\text{Al}_8\text{Mg}_5)$ в сплавах системы Al-Mg. В отожжённых сплавах рассмотренных марок АМг2, АМг6, АМг10, Д16 частицы отличаются более крупным размером, чем в сплавах АМг10 и Д16 после закалки, и искусственного, и естественного старения. Скорость диффузии магния и меди в алюминии зависит не только от температуры нагрева, продолжительности выдержки и разницы концентраций, но и структуры, внутри которой они содержатся. Так, увеличение концентрации меди в алюминии приводит к повышению скорости диффузии независимо от исходной фазы, в то время как магний, находящийся внутри эвтектики, имеет в несколько раз меньшую скорость диффузии, чем магний, находящийся в структуре с дозвтектической концентрацией магния.

Состав дисперсных фаз, выделяющихся при старении сплавов Д16 и АМг10, является результатом низкотемпературных диффузионных процессов, скорость которых на порядок ниже, чем при отжиге. Это способствует увеличению неоднородности структуры за счёт одновременного присутствия зон Гинье-Престона и упрочняющих фаз различного состава. Низкая скорость диффузии легирующих элементов, преимущественно Cu и Mg, в алюминии при температурах старения, которые обычно ниже температуры отжига, приводит к появлению частиц меньшего размера по сравнению с отожжённым состоянием, и они более неоднородно распределены внутри объёма зерна.

При старении сплавов системы Al-Cu выделение интерметаллида состава Al_2Cu , соответствующего стехиометрическому соотношению атомов Al_2Me , приводит к получению наибольших значений структурной энтропии, что согласно теории термодинамики, имеет наибольшую вероятность. Присутствие магния (например, в сплаве Д16) наряду с медью приводит к вероятности появления интерметаллида Al_2CuMg , имеющего более высокий уровень энтропии, а потому, способствует увеличению структурной неоднородности.

Большие пластические деформации свыше 20% способствуют повышению однородности структуры за счёт формирования преимущественной кристаллографической текстуры $(111)<100>$ при снижении полюсной плотности ориентировок $(100)<100>$ и $(110)<100>$. В алюминиевых сплавах зёрна с кристаллографическими ориентировками $(100)<100>$ и $(100)<110>$ обладают повышенной склонностью миграции границ при рекристаллизации и увеличению относительной полюсной плотности указанных кристаллографических плоскостей после отжига. Их полюсная плотность после рекристаллизации значительно выше, чем после прокатки и преобладает над другими компонентами. Следовательно, доля зёрен с

указанной ориентировкой будет преобладать, отражаясь на снижении уровня структурной энтропии.

В третьей главе представлено описание материалов и методов экспериментальных исследований, выполненных в работе. С учётом особенностей структуры и штампуемости листовых алюминиевых сплавов, применяемых в машиностроении в целом, и для получения слоистых композитов на их основе, в частности, разработана методика для реализации экспериментального исследования.

Разработаны режимы деформации и термической обработки сплавов АД0, АД1, АМц, АМг2, АМг5, АМг6, АМг10, Д16, 1420 для получения требуемого размера зерна и разнозернистости в результате рекристаллизации, определены режимы закалки и старения сплавов АМг10, Д16, 1420 для получения необходимого состава и распределения упрочняющих фаз.

Выбраны методики для проведения микроструктурного анализа. Разработаны способы количественной оценки зёрненной структуры и разнозернистости, а также характера распределения частиц упрочняющих фаз внутри зерна. Проведена оценка областей когерентного рассеяния для изучения влияния блочности структуры на штампуемость. Найдены методики для выявления изменений кристаллографической текстуры.

Для оценки штампуемости в вытяжных операциях листовой штамповки проводились технологические испытания на выдавливание сферической лунки, технологические испытания на глубокую вытяжку цилиндрического стаканчика, определение коэффициентов анизотропии, в том числе коэффициентов поперечной деформации. Выполнена оценка неравномерности утонения с помощью показателя разнотолщины.

Оценка пригодности листовых материалов к гибочным операциям выполнена с применением технологических испытаний по определению угла упругой отдачи (пружинения), технологических испытаний по определению минимального радиуса гибки. Для повышения достоверности результатов оценки штампуемости применялись комплексные критерии, включающие показатели основных механических свойств и сочетание показателей штампуемости, полученных в результате технологических испытаний.

Для выявления роли упрочняющих фаз при проведении формоизменяющих операций проведен расчёт механических свойств интерметаллидных фаз с использованием инженерного метода, выполнено исследование микротвёрдости фаз.

Структурную энтропию рассчитывали на основании статистической обработки кривых растяжения.

Для оценки доли, вносимой различными элементами структуры (химического состава, количества фаз, размера зерна, разнозернистости, кристаллографической текстуры) в общую структурную энтропию, рассчитанную на основании кривых растяжения, разработаны расчётные формулы энтропии химического состава, энтропии фазового состава, энтропии, вносимой размером зерна, энтропии, вносимой разнозернистостью, текстурной энтропии.

Все показатели энтропии проходили нормировку.

Для оценки энтропии строения слоистых композитов и многослойных образцов на основе алюминиевых сплавов применяли показатели энтропии многослойности и энтропии объёмной доли связующего.

Для исследования роли структуры сплавов в штампуемости многослойных образцов разработаны режимы и получены образцы совместной прокаткой листовых заготовок из сплава АМц без полимера, а также совместная прокатка образцов из сплавов АМц и 1420 с применением полимера.

В четвертой главе изучено изменение структуры листовых сплавов после холодной деформации и термообработки. Применение разработанных методик оценки однородности зёрненной структуры позволило установить количественные зависимости между режимами деформирования и термообработки листовых алюминиевых сплавов и разнозернистостью.

Установлено влияние температуры отжига на размер зерна, разнозернистость и структурную энтропию в сплавах АМг2 и АМг6.

Оценка структурной энтропии по кривым растяжения показала, что увеличение разнозернистости сопровождается ростом структурной энтропии.

Установлено влияние характера деформирования на размер зерна после рекристаллизации.

Проведён анализ размеров областей когерентного рассеяния и их зависимость от исходного состояния термообработки.

Проведено изучение кристаллографической текстуры сплавов, которое показало, что полюсная плотность одноимённых кристаллографических плоскостей в алюминиевых сплавах с ростом степени холодной деформации зависит от марки сплава.

Изучено положение кристаллографических плоскостей в упрочняющих фазах и его изменение в зависимости от степени деформации и исходного состояния сплавов до деформации, что позволило объяснить различие в значениях их микротвёрдости.

Оценка структурной энтропии на основании кривых растяжения и сопоставление полученных значений с зависимостью предела прочности

позволила установить температурные и временные границы стадий старения сплава Д16.

Построение диаграмм Парето позволило выявить факторы структуры, оказывающие наибольшее влияние на структурную энтропию.

Построение обобщённых диаграмм структурной энтропии в зависимости от суммарного содержания легирующих элементов в сплавах в отожжёном состоянии показало, что легирование приводит к росту энтропии смешивания (химического состава) и энтропии фазового состава по мере увеличения содержания легирующих элементов.

Вызывает интерес степень соответствия результатов расчёта структурной энтропии, рассчитанной по различным методикам: на основании аппроксимации кривых растяжения и на основании учёта различных структурных факторов.

Характер изменения энтропии, значения которой получены по разным методикам, совпадает. Различия в значениях могут быть связаны с тем, что диаграммы растяжения образцов из каждого сплава индивидуальны, в связи с чем их математическая аппроксимация и результаты расчёта структурной энтропии могут иметь значительные расхождения.

В пятой главе рассмотрено влияние структуры и её однородности на штампуемость листовых алюминиевых сплавов. Повышение однородности зёрненной структуры на примере сплавов АМг2 и АМг6 способствует увеличению технологичности сплавов в операциях листовой штамповки.

Неоднородность распределения фаз оказывает меньшее влияние на штампуемость по сравнению с составом фаз, формируемым при старении.

Холодное деформирование приводит к увеличению разнотолщины обоих сплавов, при этом разнотолщина более выражена для сплава АМг10 в отожжёном состоянии.

Деформация образцов из сплава АМг10 и Д16 в закалённом состоянии приводит к снижению текстурной энтропии после деформации с малыми степенями, затем наблюдается повышение, а после достижения максимальных значений при степени деформации около 20% текстурная энтропия снижается.

Выполнено сравнение зависимостей структурной энтропии и обобщённого показателя штампуемости которое показало отрицательное влияние структурной энтропии на штампуемость.

Изучение влияния отдельных слоёв в многослойных образцах на их технологичность показало, что уменьшение толщины фольги от 1,0 до 0,4 мм при совместной холодной прокатке листов АМг2 приводит к снижению числа текучести нагартованных и отожженных образцов.

Схема сборки слоистых композитов на основе алюминиевых сплавов оказывает влияние на их энтропию и штампуемость.

Чем больше количество слоёв, тем больше энтропия и ниже показатели предельного коэффициента вытяжки. Увеличение количества вынуждает уменьшать толщину отдельных слоёв, что также снижает штампаемость, как для материалов, изготовленных без добавления пластика, так и с пластиком в качестве соединительного материала.

В заключении представлены основные выводы и результаты работы.

В целом работа изложена технически грамотным языком. Каждая глава содержит важные результаты научных исследований автора и сопровождается развернутыми выводами. Общее оформление работы соответствует требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям.

Оценка содержания диссертации

Объем и содержание диссертационной работы по степени научной новизны и практической значимости удовлетворяет требованиям ВАК Российской Федерации, предъявляемым к докторским диссертациям. Анализ содержания диссертационной работы убеждает в ее завершенности. Содержание диссертации изложено в логической последовательности, а принятая терминология и стиль изложения соответствует общепринятым нормам.

Автореферат в полной мере отражает содержание диссертационной работы и ее основные положения.

Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 2.6.17. Материаловедение (05.16.09 – «Материаловедение (машиностроение)») по

- п.3 Разработка научных основ выбора материалов с заданными свойствами применительно к конкретным условиям изготовления и эксплуатации изделий и конструкций – в главах 1, 3, 5;

- п. 4 Разработка физико-химических и физико-механических процессов формирования новых материалов, обладающих уникальными функциональными, физико-механическими, эксплуатационными и технологическими свойствами, оптимальной себестоимостью и экологической чистотой – в главах 3, 4, 5;

- п.6 Разработка и совершенствование методов исследования и контроля структуры, испытание и определение физико-механических и эксплуатационных свойств материалов на образцах и изделиях - в главах 2, 3, 4, 5.

Подтверждение основных результатов диссертации в научной печати

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 44 научных работах, в том числе 2 монографиях, 16 статьях в журналах из

перечня ведущих научных журналов и изданий, рекомендованных ВАК РФ, 9 работах, индексированных в Scopus и Web of Science, 2 патентах на изобретения и базе данных.

Замечания по диссертационной работе

Диссертация выполнена на достаточно высоком научно-методическом уровне. Вместе с тем, по диссертационной работе Носовой Е.А. имеются следующие замечания:

1. В автореферате в описании содержания работы указано 262 источника, на которые ссылается автор, а в самой диссертации во введении и списке источников 305 наименований.
2. Не выявлена оптимальная структура с точки зрения упорядоченности и штампуемости.
3. В диссертации недостаточно подробно обсуждаются результаты структурных исследований, а в автореферате полностью отсутствуют изображения микроструктур.
4. В первой главе диссертационной работы отмечено влияние толщины листовых заготовок на их штампуемость, однако в дальнейшем содержании причина этого влияния не раскрыта.
5. В работе штампуемость оценивается с помощью различных критериев, не применяется единая методика её оценки, что создает трудности при рассмотрении влияния структурной энтропии на штампуемость.
6. В диссертационной работе отсутствуют технико-экономические расчёты, показывающие экономическую эффективность от создания упорядоченной структуры и повышения штампуемости.
7. Несмотря на установление влияния каждой из структурных особенностей на структурную энтропию и штампуемость исследованных листовых алюминиевых сплавов, отсутствуют выводы о том, какова должна быть конкретная структурная энтропия с количественными показателями размера зерна и его однородности, фазового состава, кристаллографической текстуры для достижения наилучшей штампуемости

В целом указанные замечания не оказывают существенного влияния на основные научные и практические результаты и не затрагивают основных положений, вынесенных соискателем на защиту.

Заключение

В диссертационной работе Носовой Е.А. научно обоснованы технические и технологические решения, реализованные при получении листовых алюминиевых сплавов с упорядоченной структурой,

обеспечивающей высокие показатели их штампуемости, которые обеспечивают повышение качества штампемых изделий при снижении себестоимости производства.

Диссертация Носовой Екатерины Александровны является самостоятельной законченной научно-квалификационной работой, в которой решена актуальная научно-техническая проблема – повышение штампуемости деформируемых алюминиевых сплавов за счёт получения упорядоченной структуры, имеющая важное значение для развития машиностроения, авиационной и ракетно-космической отрасли промышленности России.

Работа является актуальной, полученные результаты обладают научной новизной, научно обоснованы и описывают законченные этапы исследований. Достоверность изложенный в диссертации результатов подтверждается использованием современных методик исследования, применением статистической обработки экспериментальных данных и опробованием предложенных технологических решений в условиях реального производства.

Диссертационная работа соответствует паспорту научной специальности 2.6.17. Материаловедение (05.16.09 – «Материаловедение (машиностроение)»); содержание автореферата соответствует содержанию диссертации и в необходимом объеме отражает ее основные результаты и выводы; результаты работы достаточно полно освещены в научной печати.

Все перечисленное дает основание считать, что представленная диссертационная работа Носовой Е.А., несмотря на отдельные замечания, соответствует критериям, установленным п.9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. №842 (с изменениями, внесенным Постановлением Правительства РФ от 21 апреля 2016 г. №335). Автор диссертации, Носова Екатерина Александровна, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.17. Материаловедение (05.16.09 – «Материаловедение (машиностроение)»).

Отзыв на докторскую диссертацию Носовой Екатерины Александровны на тему «Формирование в листах алюминиевых сплавов при термической и деформационной обработке упорядоченной структуры для повышения их штампуемости», подготовил зав. Лабораторией «Ресурса материалов» НТК «Новые технологии и материалы» Лауреат Премии Правительства РФ в области науки и техники, доктор технических наук, профессор Ермаков Борис Сергеевич.

Настоящий отзыв обсужден и утвержден на заседании научно-технического совета Научно-технологического комплекса «Новые технологии и материалы» федерального государственного автономного образовательного

учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», протокол №3 от 27 июля 2022 г.

Председатель семинара

Заведующий лабораторией *Лауреат Премии
Правительства РФ в области науки и техники*
д.т.н. проф.

диссертация защищена по специальности
05.16.01. Металловедение и термическая
обработка металлов

Ермаков Борис Сергеевич

Секретарь

Заместитель заведующего лабораторией
к.т.н.

(диссертация защищена по специальности
05.16.01. Металловедение и термическая
обработка металлов

Швецов Олег Викторович

Почтовый адрес: 195251 Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29, 1 к.
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
Телефон: 8(812) 775-05-30, E-mail: office@spbstu.ru

