

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

**ОБЪЕДИНЕННОГО ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 99.2.039.02 (Д999.122.02),**  
созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный технический университет» и федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева»  
Министерства науки и высшего образования России по диссертации  
на соискание ученой степени доктора технических наук

аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение объединенного диссертационного совета  
от 14.10.2022 г. протокол № \_\_\_\_\_

О присуждении Носовой Екатерине Александровне, гражданке России, ученой степени доктора технических наук.

Диссертация «Формирование в листах алюминиевых сплавов при термической и деформационной обработке упорядоченной структуры для повышения их штампуемости» по специальности 2.6.17. Материаловедение принята к защите 27 июня 2022 г. (протокол заседания № 4) объединенным диссертационным советом 99.2.039.02 (Д999.122.02) на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный технический университет» Министерства науки и высшего образования России, 443100, Самара, Молодогвардейская, 244 и федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» Министерства науки и высшего образования России, 443086, Самара, Московское шоссе, 34, приказ Минобрнауки России № 45/нк от 30.01.2017 г.

Соискатель Носова Екатерина Александровна, 1976 года рождения. В 1999 г. окончила государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П.Королева». Диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук на тему: «Формирование структуры и свойств нового деформируемого сплава системы Al-Mg с повышенным содержанием магния при технологическом переделе» по специальности 05.02.01 «Материаловедение (машиностроение)» защитила в 2002 г. в диссертационном совете Д 212.217.02, созданном на базе государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Самарский государственный технический университет».

В настоящее время работает в должности доцента кафедры технологии металлов и авиационного материаловедения в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» Минобрнауки России.

Диссертация выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» Минобрнауки России.

Научный консультант – доктор физико-математических наук, профессор Амосов Александр Петрович, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный технический университет», кафедра «Металловедение, порошковая металлургия, наноматериалы», заведующий кафедрой.

### **Официальные оппоненты:**

- Антипов Владислав Валерьевич, доктор технических наук, ФГУП Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов Национального

исследовательского центра «Курчатовский институт» Государственный научный центр Российской Федерации, заместитель генерального директора по науке,

Бецофен Сергей Яковлевич, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», кафедра «Технологии и системы автоматизированного проектирования металлургических процессов», профессор,

Курганова Юлия Анатольевна, доктор технических наук, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)", кафедра «Материаловедение» МТ-8, профессор дали положительные отзывы на диссертацию.

**Ведущая организация** федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», г. Санкт-Петербург, в своем положительном отзыве, подписанном Ермаковым Борисом Сергеевичем, д.т.н., профессором, НТК «Новые технологии и материалы», лаборатория «Ресурс материалов», заведующим, Швецовым Олегом Викторовичем, к.т.н., зам. заведующего лабораторией, и утвержденном Ключковым Юрием Сергеевичем, д.т.н., доцентом, проректором по научно-организационной работе, указала, что в работе научно обоснованы технические и технологические решения, реализованные при получении листовых алюминиевых сплавов с упорядоченной структурой, обеспечивающей высокие показатели их штампуемости, которые обеспечивают повышение качества штампуемых изделий при снижении себестоимости производства.

Ведущая организация рекомендует полученные результаты и выводы использовать на предприятиях машиностроительного и авиастроительного профиля, и в учебном процессе при подготовке студентов и аспирантов по укрупнённым группам направлений 15.00.00 Машиностроение, 22.00.00 Технологии материалов, 28.00.00 Наноинженерия.

В отзыве ведущей организации указано, что в работе целесообразно было бы выявить оптимальную структуру с точки зрения упорядоченности и штампуемости, раскрыть причину влияния толщины листовых заготовок на их штампуемость, привести технико-экономические расчёты и информацию о выявленных требованиях к структурной энтропии с количественными показателями размера зерна и его однородности, фазового состава кристаллографической текстуры для достижения наилучшей штампуемости. Отмечено наличие в тексте диссертации и автореферата незначительных несоответствий, касающиеся формальных признаков работы.

**Соискатель имеет 85 опубликованных работ**, в том числе **по теме диссертации 46 работ**, из них 2 монографии, 17 статей опубликованы в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК Минобрнауки России, 9 статей в журналах, входящих в БД Scopus и Web of Science, на изобретения получены 2 патента России, зарегистрирована 1 база данных.

Публикации соискателя содержат результаты исследования микроструктуры и свойств листовых алюминиевых сплавов, алюминий-полимерных композиционных материалов, многослойных материалов на основе алюминиевых сплавов, анализ изменения структурной энтропии в процессе деформационной и термической обработки листовых алюминиевых сплавов.

Суммарный объем принадлежащего соискателю опубликованного материала по теме диссертации составляет 21,21 печатных листов. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах.

**Наиболее значительные научные работы по теме диссертации:**

1. Носова Е.А. Исследование энтропии кристаллографической текстуры листовых алюминиевых сплавов после деформации и термической обработки // **Фундаментальные**

проблемы современного материаловедения. - 2019. - Т. 16. - № 2. - С. 269-274 (авторский вклад 0,44 п. л.).

2. Носова Е.А. Исследование влияния деформации и термической обработки на уровень остаточных макронапряжений и физического уширения линий интерференции рентгеновских лучей в листовых сплавах АМг5, АМг6, АМг10 и Д16 // Вестник СамГТУ. - 2017 №3(55). - С.168-178 (авторский вклад 0,7 п. л.).

3. Носова Е.А., Амосов А.П. Применение энтропийного подхода для оценки доли влияния структурных особенностей на штампуемость алюминиевых сплавов // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. - 2022. - Т. 19. - № 1. - С. 93-105 (авторский вклад 0,41 п. л.).

4. Носова Е.А. Применение энтропийного подхода для анализа стадий старения сплава Д16 // Металловедение и термическая обработка металлов. - 2020. - № 6 (780). - С. 22-26 (авторский вклад 0,31 п. л.).

5. Nosova E. A., Grechnikov F. V. Effect of Composition and Distribution of Phases after Aging on Stamp Ability for Aluminum Alloy D16 (AA2014) sheets // Russian Journal of Non-Ferrous Metals – 2017.- Vol. 58.- No.6.- P. 625 (авторский вклад 0,16 п. л.)

#### **На диссертацию и автореферат поступили отзывы официальных оппонентов.**

В положительном отзыве официального оппонента д.т.н. **Антипова Владислава Валерьевича**, отмечено, что в работе решена задача формирования в листах алюминиевых сплавов при термической и деформационной обработке упорядоченной структуры для повышения их штампуемости. В замечаниях отмечается необоснованность выбора закалённого и состаренного состояния сплавов АМг10 и Д16, а также отдельных режимов их искусственного старения, не приведён чёткий обобщающий вывод о количественных показателях упорядоченной структуры, обеспечивающих повышенную штампуемость листов из сплава Д16 и сплавов типа АМг. Недостаточно обоснован вывод о формировании кристаллографической текстуры и прохождении рекристаллизации в интерметаллических фазах на основании изменения дифракционных пиков без анализа ориентационных соотношений упрочняющих фаз с алюминиевой матрицей. Указано на ограничение применимости расчёта ОКР размерами не более 100-150 нм. Отмечается использование некорректной терминологии. Высказано пожелание оценить влияние упорядоченной структуры на служебные характеристики изготовленных из листов деталей.

В положительном отзыве официального оппонента д.т.н., профессора **Бецофена Сергея Яковлевича** отмечается, что диссертация Носовой Е.А. является законченным научным трудом в области формирования контролируемой структуры в листовых алюминиевых сплавах для обеспечения повышенной штампуемости как самих материалов, так и многослойных материалов на их основе, актуальность которой обоснована возрастающими требованиями к современным материалам, применяемым в конструкциях авиационной, ракетно-космической и транспортной техники. Отмечена высокая значимость научных и практических результатов диссертационной работы. Предложенные автором модели и методики отличаются оригинальностью и могут быть использованы в решении широкого круга научно-технических задач. К основным замечаниям отнесено, что в диссертации приведены кристаллографические ориентировки, которых не существует. Указано на необходимость оценки вклада ориентировок с учётом доли зёрен с такой ориентировкой при расчётах текстурной энтропии. Сделано уточнение о характере влияния кристаллографических ориентировок на штампуемость, а также указано на некорректное использование символики при обозначении кристаллографических ориентировок. Обращено внимание на рекомендацию применять в расчётах полюсной плотности площадь рефлекса, а не только его высоту. Выявлена неточность при расчёте межзатомных расстояний.

В положительном отзыве официального оппонента д.т.н., доцента **Кургановой Юлии Анатольевны**, отмечается, что диссертация Носовой Е.А. является законченной научно-

квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований предложены новые научно-обоснованные технические и технологические решения актуальной научно-технической задачи получения повышенных показателей штампуемости в листах алюминиевых сплавов путём создания упорядоченной структуры в результате деформационной и термической обработки, внедрение которых при производстве штампованных изделий из алюминиевых сплавов вносит значительный вклад в развитие страны. К замечаниям отнесено, что в работе не уточнено, выполнялось ли разделение интерференционных пиков в зависимости от фаз при расчёте текстурной энтропии, в связи с чем текстурная энтропия может иметь более высокие значения; не учтена структурная энтропия базовых сплавов в алюминий-полимерных композитах, отсутствует конкретика, связанная с выбором увеличения при микроструктурном исследовании для оценки распределения упрочняющих частиц, отсутствует количественная оценка структурной энтропии для анализа процесса рекристаллизации в главе 2.

**На автореферат поступили 10 положительных отзывов от:**

1. д.ф.-м.н. проф. Громова В.Е., зав. каф. естественно научных дисциплин, к.т.н., доц. Невского С.А., доцента этой же кафедры ФГБОУ ВО "Сибирский государственный индустриальный университет" (г. Новокузнецк). В замечаниях указано на отсутствие в автореферате изображений микроструктур, для которых выполняется оценка упорядоченности с помощью структурной энтропии. Указано на наличие 2 рисунков под номером 6, и отсутствие на нём доверительного интервала значений экспериментальных результатов. Это же актуально для рисунков 2, 4, 5, 7-9.

2. д.т.н. проф. Алибекова С.Я., зав. каф. машиностроения и материаловедения ФГБОУ ВО "Поволжский государственный технологический университет" (г. Йошкар-Ола). Замечания отсутствуют.

3. д.т.н. проф. Никулиной А.А., проф. каф. материаловедения и машиностроения ФГБОУ ВО "Новосибирский государственный технический университет" (г. Новосибирск). В замечаниях указано на отсутствие в автореферате изображений микроструктуры анализируемых сплавов, хотя в работе речь идёт об идентификации реальной структуры с помощью энтропийного подхода, что затрудняет оценку разработанной методики.

4. д.т.н. доц. Володченко А.Н. проф. каф. теоретической и прикладной химии ФГБОУ ВО "Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова"(г. Белгород). Замечания касались формулировки научной новизны работы в части взаимосвязи структурных изменений и технологических свойств листовых алюминиевых сплавов при их обработке. Из автореферата не ясно, использовался ли метод электронной микроскопии при исследовании структуры сплавов. Проводились ли расчёты изменения себестоимости изделий при внедрении разработанной технологии?

5. д.т.н. проф. Дорофеева В.Ю., проф. каф. «Технология машиностроения, технологические машины и оборудование» ФГБОУ ВО "Южно-Российский государственный политехнический университет имени М.И. Платова" (г. Новочеркасск). В замечаниях указано, что при обсуждении результатов, представленных на рис.4, автор неверно указывает на положение пика кривой вероятности распределения размера зерна в зоне сжатия. Указано на избыточность детализации формулировки выводов 2 и 5 в заключении.

6. д.т.н. доц. Парфенова Е.В., зав. кафедрой материаловедения и физики металлов ФГБОУ ВО "Уфимский государственный авиационный технический университет" (г. Уфа). В замечаниях отмечено, что в автореферате представлено недостаточное количество структурных исследований, не приведено технико-экономическое обоснование внедрения результатов работы, не показан их экономический эффект. Спорный момент вызывает учёт только высоты пиков при расчёте текстурной энтропии, поскольку их ширина указывает на присутствие дефектов кристаллической решётки, способных влиять на штампуемость.

7. д.т.н. проф. Булова В.Г., проф. кафедры материаловедения в машиностроении, к.т.н., доц. Крутского Ю.Л., доц. кафедры химии и химической технологии ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет» (г.Новосибирск). В замечании указано, что на диаграммах Парето представлены весовые доли структурных составляющих, но не описана методика оценки этих долей. Уточнено, что логичнее было бы указывать либо атомные, либо массовые доли.

8. д.т.н. проф. Ситникова А.А., директора производственного и внедренческого комплекса прикладных исследований и разработок, к.т.н. Собачкина А.В., доцента кафедры «Малый бизнес в сварочном производстве» ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им.И.И.Ползунова» (г.Барнаул). Замечания: в автореферате не содержатся результаты исследования оптической металлографии и электронной микроскопии, хотя на стр.6 автореферата приводятся сведения об использовании данных методов исследования. Отсутствуют обобщающие рекомендации, которые давали бы представление о количественном значении структурной энтропии, обеспечивающей наилучшую штампуемость алюминиевых сплавов.

9. К.ф.-м.н. доц. Глебова В.В., доцента кафедры «Подъемно-транспортных машин и машиноремонта» ФГБОУ ВО «Волжский государственный университет водного транспорта (г. Нижний Новгород). Замечания связаны с недостаточностью структурных исследований и изображений микроструктуры; не показано, какую долю в текстурной энтропии занимают ориентировки с положительным и отрицательным влиянием на штампуемость; нет уточнения о структурных изменениях после деформации и отжига в сплавах с различной степенью легирования; не объяснено, чем вызвано различие в размере зерна после деформации сжатием и растяжением и отжига; нет объяснений, почему для отжига сплава АМг2 нужны более высокие температуры нагрева.

10. Д.т.н. проф. Емелюшина А.Н., профессора кафедры литейных процессов и материаловедения ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им.Г.И.Носова». Замечаний нет.

**Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их высокой компетентностью в области материаловедения, разработки составов, термической обработки, исследований структуры и комплекса свойств алюминиевых сплавов, металлополимерных композиционных материалов, технологий производства полуфабрикатов и конструкций из алюминиевых сплавов и композитов, что подтверждается публикациями в научных изданиях в сфере научных исследований соискателя.**

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

- **разработан** подход к решению проблемы повышения штампуемости алюминиевых сплавов за счет создания упорядоченной структуры при термической и деформационной обработке;

- **предложен** метод количественной оценки на основании структурной энтропии влияния химического и фазового состава сплавов, режима и схемы напряжённо-деформированного состояния, структуры листовых материалов на их способность к последующему деформированию;

- **доказаны** обоснованность закономерностей образования упорядоченной структуры и соответствующего изменения структурной энтропии в листовых алюминиевых сплавах, предназначенных для получения изделий методами холодной листовой штамповки;

- **введена** расчётная модель формирования и способы количественной оценки зёрненной структуры, фазового состава, кристаллографической текстуры и структурной энтропии при пластическом деформировании и термической обработке листовых алюминиевых сплавов систем легирования Al-Mn, Al-Mg, Al-Mg-Cu.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

- **разработаны** научно обоснованные технические и технологические решения для формирования упорядоченной структуры листовых алюминиевых сплавов, базирующиеся на выявленных закономерностях их структурообразования при пластическом деформировании и термической обработке и обеспечивающие возможность создания материалов с повышенными характеристиками штампуемости;

- **установлено** уменьшение структурной энтропии, связанное с упорядочиванием структуры, определяемой преимущественной ориентировкой кристаллографических плоскостей твердого раствора и упрочняющих фаз, в процессе холодной прокатки и снижение степени упорядочения структуры на этапе возврата и рекристаллизации при последующем отжиге за счёт уменьшения энтропии по окончании первичной рекристаллизации и увеличения энтропии на этапе собирательной рекристаллизации;

- **показано**, что структурная энтропия, рассчитанная на основании аппроксимации кривых растяжения, позволяет разделить стадии старения и структурные превращения, происходящие на его этапах;

- **доказаны** результаты критического анализа и выявления приоритетных направлений формирования требуемых свойств и структуры, в том числе структурной энтропии листовых алюминиевых сплавов при деформировании и термической обработке для производства изделий методами листовой штамповки;

- **изложена** энтропийная концепция пластической деформации металлов и сплавов;

- **раскрыта** взаимосвязь влияния структурных изменений на технологические свойства листовых алюминиевых сплавов в процессе технологического цикла изготовления деталей методами листовой штамповки;

- **изучены** закономерности изменения структуры и штампуемости листовых алюминиевых сплавов в процессе пластической деформации и термической обработки.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:**

- **разработаны** «Способ количественной оценки неоднородности зёрненной структуры листовых металлических материалов», «Способ количественной оценки распределения упрочняющих фаз листовых алюминиевых сплавов», «База данных технологических свойств для слоистых композиционных материалов на основе алюминиевых сплавов АМг2 и 1420»;

- **внедрены** результаты диссертации при проектировании и изготовлении штампованных изделий из листовых алюминиевых сплавов на АО «Авиакор-Авиационный завод», ООО «Зетта», ООО «Гидравлика», ПАО ОДК «Кузнецов», ООО «Димитровградский металлургический завод», а также в качестве методических материалов при обучении бакалавров по направлениям 22.03.02 – Металлургия, 15.03.02- Машиностроение и магистров по направлению 22.04.02- Металлургия;

- **представлена** взаимосвязь структурной энтропии с механическими и технологическими свойствами сплавов, позволяющая выявить наиболее значимые особенности структуры, влияющие на штампуемость листов и сформулировать рекомендации по её повышению;

**определены** факторы структуры листов из алюминиевых сплавов, оказывающих наиболее значимое влияние на их штампуемость;

**создана** методика расчёта структурной энтропии для различных факторов структуры листов из алюминиевых сплавов.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

- для экспериментальных работ получен необходимый объём опытных данных на сертифицированном оборудовании в соответствии с действующими стандартами и

методиками Российской Федерации, показана воспроизводимость результатов исследований;

- расчётные модели построены на известных проверяемых данных, фактах, положениях и постулатах материаловедения, общепринятых классических подходах; полученные новые результаты не противоречат ранее опубликованным данным и теоретическим положениям;

- идея базируется на применении энтропийного подхода для создания упорядоченной структуры при термической и деформационной обработке с подтвержденным повышением штампуемости алюминиевых сплавов;

- установлено качественное и количественное совпадение полученных авторских экспериментальных результатов с данными из независимых источников по данной тематике;

- использованы современные методики сбора и обработки информации, статистической обработки результатов испытаний, разработанные и апробированные методики, стандарты предприятий;

**Личный вклад соискателя состоит в:**

- непосредственном участии в постановке цели, задач исследования, в выборе путей и методов их решения, получении результатов, их анализе и интерпретации;

- выполненных лично автором решениях задач по разработке с применением математического моделирования расчётных моделей формирования требуемой структуры в алюминиевых сплавах, предназначенных для получения изделий методами холодной листовой штамповки;

- личном участии в апробации результатов исследований.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания: обратить внимание на то, что уменьшение энтропии и её отрицательные значения свидетельствуют об обратимости процесса, целесообразности и обоснованности исследований слоистых алюминий-полимерных композитов, отсутствии на графиках доверительного интервала значений, отсутствии температуры в формулах для расчёта энтропии.

Соискатель Носова Е.А. ответила на задаваемые ей в ходе заседания вопросы и привела собственную аргументацию.

На заседании №16 от 14 октября 2022 года диссертационный совет принял решение: за решение актуальной научной проблемы повышения штампуемости деформируемых алюминиевых сплавов за счёт формирования в них упорядоченной структуры, имеющей важное хозяйственное значение, присудить Носовой Екатерине Александровне ученую степень доктора технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 9 докторов наук по специальности 2.6.17, участвующих в заседании, из 22 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 18, против нет.

Председатель

диссертационного совета 99.2.039.02 (Д999-122.02)

Клебанов Яков Мордухович

Секретарь

диссертационного совета 99.2.039.02 (Д999-122.02)

Луц Альфия Расимовна

14 октября 2022 г.

