

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора  
по научной работе ИМАШ УрО РАН,  
кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник

Буров Сергей Владимирович

20 января 2016 г.

#### ОТЗЫВ

ведущей организации – Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Институт машиноведения Уральского отделения Российской академии наук  
(ИМАШ УрО РАН) на диссертацию Огородниковой Ольги Михайловны  
«Консолидированный компьютерный анализ процессов получения и эксплуатации  
металлических материалов в машиностроении», представленную на соискание ученой  
степени доктора технических наук по специальности  
05.16.09 – Материаловедение (в машиностроении)

Представленная на отзыв диссертация изложена на 332 страницах, состоит из введения, 6 глав, заключения, библиографического списка из 370 использованных источников, заключения и приложения.

**Актуальность работы.** Для обеспечения прочности и надежности сложных технических изделий современного машиностроения необходима комплексная оценка вклада факторов, связанных со свойствами используемых металлических материалов, геометрических параметров изделий и технологии их изготовления применительно к нагруженным конструкциям с неординарной пространственной геометрией. В связи с этим большую актуальность приобретают исследования, направленные на разработку эффективных методов компьютерного моделирования машиностроительных материалов и технологии их обработки, что обусловлено стремительным развитием информационной инфраструктуры машиностроения на базе интегрированных сред проектирования и подготовки производства CAD/CAE/CAM. Разработка новых средств компьютеризации и автоматизации в машиностроении предоставляет новые возможности для компьютерного моделирования в целях создания новых материалов и прецизионных технологий

изготовления из них деталей. Рецензируемая диссертация содержит ряд новых научных данных и методических разработок, которые позволяют активировать потенциальные возможности современных интегрированных сред проектирования машиностроительных изделий за счет создания корректных баз данных материалов и передачи данных о материалах между программами компьютерного инженерного анализа технологических процессов изготовления и эксплуатации деталей.

**В первой главе** представлена разработанная автором концепция консолидированного компьютерного моделирования материалов, технологий и изделий в контексте цифрового машиностроения. Концепция представлена как системная идея организации совместного проектирования в интегрированных средах CAD/CAE/CAM/PLM, которую через создание методологии можно развить в новое научное направление прикладного характера – информационное материаловедение. Соответствующее защищаемое положение о концепции консолидированного компьютерного анализа освещено в публикациях:

- Ogorodnikova O.M., Martynenko S.V. Combined analysis of technological processes and load conditions of casting // Russian Metallurgy. – 2012. – № 9. – P. 754-756.
- Огородникова О.М. Консолидированный компьютерный анализ отливки, технологии литья и литейного сплава // Литейное производство. – 2015. – № 2. – С. 32-34.
- Огородникова О.М. Методы и инструменты цифрового машиностроения для компьютерного моделирования технологий и конструкций // Научное обозрение. – 2015. – № 10. – С. 209-212.
- Огородникова О.М. О проблемах интеграции вычислительного материаловедения в цифровое машиностроение // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2014. – № 2. – С. 30-34.
- Огородникова О.М. Исследовательская функция программ CAE в сквозных технологиях CAD/CAE/CAM // Вестник машиностроения. – 2012. – № 1. – С. 25-31.

**Во второй и третьей главах** представлены разработанные автором расчетно-экспериментальные методы корреляции моделей поведения материалов для компьютерного анализа температурных полей, усадочных дефектов, напряжений и деформаций в программах CAE при предпроизводственной подготовке технологических процессов литья. Методы информационного материаловедения для создания комплекса уточненных свойств в электронных базах данных, защищаемые автором, освещены в публикациях:

- Ogorodnikova O.M., Martynenko S.V. Application of Levenberg-Marquardt algorithm in computer simulation of cast defects // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2015. – V. 51, № 5. – P. 315-319.
- Огородникова О.М., Мартыненко С.В. Расчетно-экспериментальная корректировка баз данных для компьютерного моделирования литейных технологий // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2015. – Т. 81, № 10. – С. 40-43.
- Огородникова О.М. Накопление остаточных напряжений в металлических материалах при охлаждении после кристаллизации // Литейное производство. – 2014. – №7. – С. 37-40.



- Огородникова О.М. Напряженно-деформированное состояние металла в эффективном интервале кристаллизации // *Литейное производство*. – 2012. – № 9. – С. 45-52.
- Огородникова О.М. Остаточные напряжения в отливках // *Литейное производство*. – 2011. – № 3. – С. 33-37.

**Во второй, третьей и четвертой главах** представлены разработанные автором модели компьютерного анализа технологически обусловленного неоднородного распределения дефектов, состава и структуры металлических сплавов. Соответствующее защищаемое положение о моделях и количественных оценках закономерностей изменения свойств материалов при охлаждении в температурном интервале вблизи солидуса освещено в публикациях:

- Ogorodnikova O.M., Ryabov D.G., Radya V.S. Computer simulation of thermal conditions during solidification of blister copper ingot in the cast mold // *Non-ferrous Metals*. – 2013. – № 2. – P. 40-43.
- Огородникова О.М. Анализ эффективности параллельного вычисления температурных полей на послойной конечно-элементной сетке // *Литейное производство*. – 2014. – № 11. – С. 30-32.
- Огородникова О.М., Мартыненко С.В., Грузман В.М. Прогнозирование кристаллизационных трещин в стальных отливках // *Литейное производство*. – 2008. – № 10. – С. 29-34.
- Огородникова О.М., Пигина Е.В., Мартыненко С.В. Компьютерное моделирование горячих трещин в литых деталях // *Литейное производство*. – 2007. – № 2. – С. 27-30.

**В четвертой главе** представлены результаты математического и компьютерного моделирования структуры и свойств литейных суперинварных сплавов Fe-Ni-Co. Соответствующее защищаемое положение о количественной оценке влияния внутрикристаллитной ликвации никеля, обусловленной технологическими режимами кристаллизации, на основную служебную характеристику суперинваров – температурный коэффициент линейного расширения – освещено в публикациях:

- Ogorodnikova O.M., Chermenskaya E.V., Rabinovich S.V., Grachev S.V. Linear thermal expansion coefficient of cast Fe-Ni invar and Fe-Ni-Co superinvar alloys // *The physics of metals and metallography*. – 1999. – V. 88, № 4. – P.46-50.
- Ogorodnikova O.M., Rabinovich S.V., Kharchuk M.D., Chermensky V.I. Influence of nickel liquation on temperature coefficient of linear expansion of superinvars // *The physics of metals and metallography*. – 1993. – V. 76, № 4. – P. 118-122.
- Ogorodnikova O.M., Maksimova E.V. Precipitation hardening of castable iron-nickel invars // *Metal Science and Heat Treatment*. – 2015. – V. 57, № 3. – P. 143-145.
- Рабинович С.В., Черменский В.И., Огородникова О.М., Харчук М.Д. Математическое моделирование дендритной ликвации никеля в литейных инварных и суперинварных сплавах // *Литейное производство*. – 2002. – № 6. – С. 9-12.

**В пятой главе** представлены методически разные консолидированные компьютерные модели и практические результаты использования разработанных методов компьютерного анализа литых деталей с учетом технологически обусловленной структурной неоднородности материала. Соответствующее защищаемое положение о

консолидированных моделях САЕ для компьютерного анализа литых деталей и программных средствах трансляции данных о свойствах материала освещено в публикациях:

- Weiss K., Ogorodnikova O.M., Popov A.V. Computerized engineering analysis of castings in the WinCast Program. *Metalcasting industry trends // Litejnoe Proizvodstvo*. – 2002. – № 7. – P. 25-26.

- Огородникова О.М., Мартыненко С.В., Проничев И.М. Компьютерное моделирование литой детали «рама боковая» с учетом усадочной пористости // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. – 2015. – № 2. – С. 36-40.

- Огородникова О.М., Максимова Е.В., Показанев М.В. Компьютерное исследование нагруженной осесимметричной конструкции с учетом неоднородного распределения структурных характеристик в опорной детали // *Двойные технологии*. – 2014. – № 1 (66). – С. 19-24.

- Огородникова О.М., Рябов Д.Г., Радя В.С. Консолидированный компьютерный анализ технологии изготовления и режимов эксплуатации литой изложницы // *Литейное производство*. – 2013. – № 5. – С. 21-23.

- Мартыненко С.В., Огородникова О.М., Грузман В.М. Использование компьютерных методов для повышения качества крупногабаритных тонкостенных стальных отливок // *Литейное производство*. – 2009. – № 11. – С. 21-26.

**В шестой главе** представлены результаты исследования структуры, текстуры, механических и функциональных свойств платина-никелевых сплавов, упорядочивающихся по типу  $L1_0$ , после волочения и термической обработки. Полученные экспериментальные данные использованы для создания моделей поведения материалов и консолидированы в компьютерный анализ технологических процессов изготовления проволоки. Соответствующее защищаемое положение о результатах исследования проволоки из сплавов  $Pt_{50}(Ni+Cu)_{50}$ , упорядоченных по типу  $L1_0$ , освещено в публикациях:

- Огородникова О.М., Бородин Е.М., Гудин А.А. Компьютерное исследование инструмента для изготовления проволоки // *Компьютерные исследования и моделирование*. – 2014. – Т. 6, № 6. – С. 983-989.

- Ogorodnikova O.M., Litvinov V.S. Kinetics of ordering of platinum nickel copper alloys by  $L1(0)$  type // *The physics of metals and metallography*. – 1993. – V.75, № 6. – P.113-117.

**Новизна исследований и полученных результатов, выводов и рекомендаций.** В диссертации предложен новый подход к организации информационных потоков в расчетном обосновании прочности деталей при проектировании, который объединяет выбор, совершенствование и разработку сплавов, обладающих требуемым комплексом функциональных и физико-механических свойств, с компьютерным конструкционным и технологическим анализом, а также учитывает структурную неоднородность металлических материалов. Разработаны и апробированы расчетно-экспериментальные методы для корректировки моделей поведения материалов для задач компьютерного анализа технологий и конструкций. Созданы и апробированы консолидированные модели компьютерного анализа, которые позволяют давать количественную оценку напряженно-



деформированному состоянию литейных сплавов при выполнении технологических операций и далее под воздействием эксплуатационной силовой нагрузки.

**Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и заключения, сформулированных в диссертации.** Теоретические положения и практические рекомендации базируются на результатах, полученных автором с использованием современных инструментов исследований и с соблюдением необходимых процедур верификации моделей. Достоверность результатов исследований подтверждена результатами их практической реализации, опубликованием в рецензируемых профильных журналах и обсуждением на международных и российских конференциях. Обобщая вышеизложенное, следует заключить, что работа выполнена на методическом уровне, соответствующем современному состоянию науки.

#### **Замечания по работе**

1. В работе не приведены расчетные схемы рассматриваемых деталей и заготовок и не сформулированы термомеханические граничные условия.

2. Большинство выносимых на защиту положений в работе декларируются без соответствующего подтверждения экспериментальными данными.

3. В диссертации и в автореферате использованы некорректные с точки зрения физического материаловедения термины и сочетания (фрактуры, актуальная углеродистая сталь 20Л с легирующими добавками, спектр рентгеновских испытаний и т.п.)

4. В работе недостаточно описаны использованные методы исследований и испытаний.

5. В диссертации не приведено обоснование принципа выбора исследованных металлов, сталей и сплавов.

6. В работе отсутствует обоснование применения нового термина - «информационное материаловедение».

7. Использование термоупругой постановки задачи при моделировании напряженного состояния при кристаллизации металла без учета релаксационных процессов приводит к существенному завышению расчетного уровня действующих напряжений. Это следует, например, из результатов расчетов, представленных в диссертации и на рис. 10, стр. 19 автореферата, из которого следует, что растягивающие напряжения в корке застывающей отливки из стали 20ГЛ превышают 200 МПа, чего не может быть, так как в условиях статического нагружения напряжение пластического течения уже при 1200 °С имеет значение меньше 10 МПа (П.И. Полухин, Г.Я. Гун, А.М. Галкин. Сопrotивление пластической деформации металлов и сплавов. Справочник. М.: Металлургия. 1976).

Указанные замечания не подвергают сомнению научную и практическую значимость работы. Работа выполнена на высоком научном уровне, полезна для развития информационных технологий на заготовительных металлургических производствах машиностроения. Все основные результаты опубликованы в изданиях, рекомендованных ВАК, и обсуждены на профильных конференциях российского и международного уровня.

### **Вопросы по работе**

1. Из работы неясно как экспериментальные данные по термометрированию отливки используются при компьютерном моделировании.
2. В чем заключается суть вводимого понятия «консолидированный метод компьютерного моделирования»?
3. Что подразумевается под терминами «грейферная прочность» и «эффективная прочность» исследованных материалов?
4. Какие структурные характеристики формализуются и используются при проведении компьютерного моделирования материалов?

### **Соответствие работы требованиям, предъявляемым к диссертациям.**

Материалы диссертации соответствуют пункту 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней (далее – Положение) от 24 сентября 2013 г. (постановление № 842), поскольку представленная диссертация является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований изложены новые научно обоснованные технические и методические решения. Внедрение этих решений вносит значительный вклад в развитие машиностроительной отрасли страны.

Материалы диссертации соответствуют пункту 10 Положения, поскольку диссертация написана автором самостоятельно, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, а также свидетельствует о личном вкладе автора диссертации в науку (42 публикации в списке литературы написаны автором единолично). Диссертация имеет прикладной характер, содержит описание решенных автором производственных задач с использованием разработанных методов компьютерного анализа и акты внедрения результатов работы на машиностроительных заводах.

Материалы диссертации соответствуют пунктам 11, 13, 14 Положения, поскольку все защищаемые положения освещены в статьях, опубликованных более чем в 10 рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК, 10 публикаций автора индексируются в базе данных Web of Science, имеется 2 зарегистрированных в установленном порядке свидетельства на программы для электронных вычислительных машин.

**Заключение.** Диссертация О.М. Огородниковой, представленная на соискание ученой степени доктора технических наук, актуальна. Разработки автора прошли апробацию в машиностроении. Диссертация соответствует паспорту специальности 05.16.09 – Материаловедение (в машиностроении). Совокупность полученных результатов представляет собой комплекс новых научно обоснованных технических решений, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие машиностроения РФ. Диссертация соответствует п.9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемых к докторским диссертациям. Диссертант О.М. Огородникова заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.16.09 – Материаловедение (в машиностроении).



Диссертационная работа и отзыв на нее обсуждены и одобрены на научно-техническом семинаре Отдела физических проблем машиностроения ИМАШ УрО РАН (лаборатории: конструкционного материаловедения, деформирования и разрушения, микромеханики материалов, технической диагностики) (протокол № 168 от 20 января 2016 г.).

Председатель научно-технического семинара,  
руководитель Отдела физических проблем машиностроения ИМАШ УрО РАН,  
академик РАН, главный научный сотрудник,  
профессор, доктор технических наук  
Горкунов Эдуард Степанович



\_\_\_\_\_ Э.С. Горкунов

Секретарь научно-технического семинара,  
кандидат технических наук,  
научный сотрудник  
Мясникова Марина Валерьевна

\_\_\_\_\_ М.В. Мясникова

620049, г. Екатеринбург, ул. Комсомольская, д. 34, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения Уральского отделения Российской академии наук; тел.: +7 (343) 374-47-25; e-mail: [ges@imach.uran.ru](mailto:ges@imach.uran.ru)

20 января 2016 г.