

РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ (НАУЧНЫЙ ОБЗОР). ЧАСТЬ 1

Г.С. Гун

*Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова,
г. Магнитогорск*

Отмечена роль ученых металлургов г. Челябинска и г. Магнитогорска в развитии теории и практики процессов обработки металлов давлением. Значительный вклад в создание новых процессов ОМД внес организатор кафедры прокатки Челябинского политехнического института В.Н. Выдрин. Им была создана одна из немногих проблемных лабораторий в высших учебных заведениях страны. В проблемной лаборатории «Новые технологии процессы прокатки» при участии сотрудников кафедры прокатки под руководством профессора В.Н. Выдрина решались не только вопросы теории, но и разрабатывались новые технологические процессы прокатки и оборудование для их осуществления на базе энергетической теории. Примером этого является создание процессов прокатка-волочение, прокатка-ковка, прокатка в многовалковых калибрах, прокатка периодических профилей, прокатка фасонных профилей высокой производственной готовности, волочение в роликовых волоках. Необходимо отметить работы кафедры в области непрерывной прокатки. Следует отметить плодотворное сотрудничество научных школ В.Н. Выдрина и М.И. Бояршинова по развитию теории прокатки в многовалковых калибрах.

Коллектив кафедры машиностроительных и металлургических технологий МГТУ им. Г.И. Носова эффективно работает в области производства биметаллической проволоки, порошковой металлургии, слоистых композиционных материалов. Значительны работы в области метизного производства, конструирования и формирования покрытий в процессах ОМД, квалиметрии промышленной продукции и производственных процессов в металлургии; формирования структуры и свойств ультрамелкозернистых углеродистых сталей методами деформационного измельчения. На кафедре предложена методика прогнозирования механических свойств и напряженно-деформированного состояния в процессах обработки давлением стальных заготовок с различными структурными неоднородностями.

Ключевые слова: Выдрин В.Н., Шеркунов В.Г., качество, обработка металлов давлением, метизное производство, системный подход.

В середине XX века развитие теории и практики обработки металлов давлением в России во многом определяли уральские научные школы В.Л. Колмогорова, А.А. Богатова (г. Екатеринбург), В.Н. Выдрина (г. Челябинск), Г.Э. Аркулиса, М.И. Бояршинова (г. Магнитогорск), Г.Л. Колмогорова (г. Пермь). Особенно интересны и системны были подходы и разработки выдающегося ученого-металлурга и организатора науки – Владимира Николаевича Выдрина. Им была еще в СССР создана Проблемная лаборатория, в рамках которой создано новое оборудование, включающее сочетание основных процессов ОМД: прокатки, прессования, волочения,ковки. Опорой В.Н. Выдрина в те годы и верными соратниками были заведующий Проблемной лабораторией В.Г. Шеркунов и молодой доктор наук Л.М. Агеев.

Профессор В.Г. Шеркунов выполнил ряд «прорывных» работ в теории волочения, внес значительный вклад в развитие метизного производства [1]. Л.М. Агеев долгое время был самым молодым доктором наук из всех прокатчиков СССР, им создан принципиально новый процесс ПВ («прокатка-волочение») для получения тонких холоднокатаных полос [2].

Золотой фонд челябинской научной школы В.Н. Выдрина составили 14 специалистов, защитивших докторские диссертации по актуальным

проблемам обработки материалов давлением: Я.С. Финкельштейн, Л.М. Агеев, Л.А. Барков, В.Г. Дукмасов, Н.В. Судаков, Г.И. Коваль, В.Г. Шеркунов, В.С. Токарь, Б.А. Чаплыгин, А.В. Выдрин, В.А. Павлов, А.В. Козлов, Ю.В. Горохов, В.И. Трусовский [1–13].

Особенно хочу выделить двух блестящих ученых – последователей и учеников Владимира Николаевича. А.В. Выдрин возглавляет науку челябинских трубопрокатчиков, вырос в одного из ведущих ученых России и зарубежья в области теории и практики прокатки труб. В.Г. Шеркунов руководит кафедрой, подготовил 6 докторов наук (мало кто из нас может похвастать такой цифрой), уровень возглавляемого им научного коллектива позволяет решать сложные современные задачи обработки металлов давлением [8, 10–13].

По работам В.Н. Выдрина в области непрерывной прокатки обучалось несколько поколений студентов-прокатчиков. Широкое распространение получили в работах научных школ В.Н. Выдрина и М.И. Бояршинова многовалковые калибры [14, 15]. Специализированные кафедры ОМД ЧПИ и МГМИ провели серию совместных семинаров и конференций по развитию теории прокатки в многовалковых калибрах. Влияние личности ученого-мыслителя В.Н. Выдрина на развитие и достижения научных школ Магнитогорских прокатчиков несомненно.

В предлагаемом спецвыпуске журнала, посвященного 95-летию В.Н. Выдрина, будут отражены основные достижения челябинских ученых, и поэтому автор предлагает научный обзор результатов магнитогорских исследователей коллектива кафедры машиностроительных и металлургических технологий (ММТ) МГТУ им. Г.И. Носова, так как уверен, что влияние научного авторитета В.Н. Выдрина на работы уральских ученых значительно и благотворно.

Коллектив кафедры ММТ МГТУ им. Г.И. Носова эффективно сотрудничает с ведущими научными школами России – прокатчиками Института металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН РФ (В.С. Юсупов), МИСиС (А.В. Зиновьев, В.В. Бринза, Р. Кавалла), МГТУ им. Н.Э. Баумана (А.Г. Колесников), Цветметобработки (Г.В. Ашихмин), ЮУрГУ (В.Г. Шеркунов), Уральского федерального университета им. первого Президента России Б.Н. Ельцина (А.А. Богатов), Сибирского федерального университета (Н.Н. Довженко, С.Б. Сидельников), Тульского государственного университета (С.С. Яковлев), Пермского национального технического университета (Г.Л. Колмогоров, М.Б. Гитман) и многими другими отечественными и зарубежными организациями.

В 1999 г. впервые в МГТУ им. Г.И. Носова Государственной премией в области науки и техники удостоен коллектив учёных кафедры во главе с профессором В.Л. Стеблянко за создание непрерывной промышленной линии по производству биметаллической проволоки на Магнитогорском метизно-металлургическом заводе [16, 17].

Во главе с доцентом В.Д. Голевым молодые учёные М.В. Чукин, И.Ю. Мезин, М.Я. Митлин спроектировали цех порошковой металлургии на белебеевском заводе «Белсельмаш». Идеи молодых учёных И.Ю. Мезина, И.Г. Гуна, М.В. Чукина по переработке чугунной обрезки изложниц в порошок послужили толчком к созданию мини-завода порошковой металлургии «Феррум» на базе ОАО «ММК». Впервые в регионе мы стали производить порошковые изделия для ВАЗа, затем во главе с профессором И.Г. Гуном создано предприятие по выпуску автокомпонентов – ЗАО «Бел-Маг», которое в настоящее время является лидером по производству автокомпонентов в России и фактически служит базовой кафедрой университета на производстве [18–20].

Нельзя не отметить издательскую деятельность кафедры ММТ, выпустившей за эти годы сотни книг, монографий, пособий, сборников; занимающей лидирующие позиции в выпуске журнала ВАК «Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова», журналов «Обработка сплошных и слоистых материалов», «Качество в обработке материалов».

Кафедра всегда отличалась самобытностью и новаторством в теоретических разработках.

Так, первый заведующий кафедрой, профессор Г.Э. Аркулис разработал уникальную теорию совместной пластической деформации разнородных металлов, послужившую базой для решения задач конструирования и обработки слоистых материалов различных композиций и назначения. Эта теория в то время явилась прорывом в теории совместной деформации материалов с различными характеристиками, получила мировое признание и распространение [21, 22].

Тесное сотрудничество кафедры с метизными заводами страны и с единственным в то время исследовательским метизным центром СССР – ВНИИметизом позволили занять лидирующие позиции в теории метизного производства. Мощная группа метизников: Х.Н. Белалов, Ю.И. Коковихин, В.А. Кулеша, Н.А. Клековкина, В.Г. Дорогобид, Г.А. Щеголев, В.А. Харитонов, В.П. Манин, М.В. Чукин, А.Г. Корчунов и др. фактически обеспечила теоретическую платформу метизной подотрасли СССР, а затем и России [23–27].

Международное признание получила и научная школа «порошковиков»: В.Д. Голев, И.Ю. Мезин, М.В. Чукин, М.Я. Митлин, Э.М. Голубчик, М.А. Полякова и др. На рубеже 80–90-х годов прошлого столетия в университете при кафедре ММТ открыта специальность «Порошковые и композиционные материалы, покрытия» и начата подготовка высококвалифицированных инженерных кадров в области порошковых технологий и нанесения покрытий. В 1988 г. по заданию Государственного комитета по образованию СССР научно-педагогический коллектив кафедры назначен разработчиком учебного плана по специальности «Порошковые и композиционные материалы, покрытия» для всех вузов СССР.

Представители научного коллектива, вовлеченные в научные исследования по проблемам порошковой металлургии и нанесения покрытий (научные руководители – И.Ю. Мезин, М.В. Чукин), приняли участие в 17 научно-исследовательских работах, в числе которых 3 федеральные научно-технические программы по исследованиям в области порошковой технологии, Международный проект с техническим университетом г. Хемниц (ФРГ), 6 грантов по фундаментальным проблемам в области металлургии и в области машиностроения. Под руководством И.Ю. Мезина разработаны теоретические принципы построения технологических процессов производства пористых металлоизделий для различных отраслей промышленности, заключающиеся в использовании холодной пластической деформации в качестве операции, обеспечивающей не только форму и размеры, но и одновременное формирование материала готового изделия, получены новые научные знания о консолидации отдельных элементов пористой металлической среды при холодном прессовании [28–34].

Научным коллективом под руководством д-ра техн. наук И.Г. Гуна разработаны новые и усовершенствованы существующие процессы обработки давлением, такие как: планетарная обкатка, запрессовка, высадка, штамповка, планетарно-поворотная обкатка, закатка и др.; разработана концепция производства метизов для Автопрома; пакеты методик расчета и испытательные стенды для автомобильных метизов. ЗАО «БелМаг» во многом благодаря своим теоретическим разработкам стал лидером в России по производству автокомпонентов [35–55].

Новая концепция конструирования и формирования покрытий в процессах ОМД на основе принципа обеспечения динамической устойчивости технологического и эксплуатационного деформирования при стохастичности параметров управления и состояния разработана М.В. Чукиным. Им предложен метод сравнения двух специальных нечетких множеств задач технологического и эксплуатационного деформирования изделий с покрытиями, учитывающий этапность и значимость целей соответствующих показателей для комплексного критерия оптимизации; создана реологическая модель упругопластической пористой слоистой среды с межслойными границами произвольной формы и пространственной ориентации; получены условия совместной пластической деформации некомпактных элементов многослойного материала для случаев отсутствия и наличия деформационного упрочнения твердой фазы элементов композита. Под руководством М.В. Чукина проведен комплекс теоретических изысканий, в результате получены новые научные знания о процессе волочения проволоки с полимерными покрытиями при детерминированных значениях микрогеометрии межслойной границы и случайно-вероятностном характере распределения показателей микрогеометрии межслойной границы; определены границы устойчивости процесса электроконтактного напекания двухслойных покрытий при детерминированных значениях пористости и случайно-вероятностном характере распределения пористости по объему элементов композиции; выведены зависимости влияния параметров состояния пористых покрытий из самофлюсующихся порошковых сплавов на эксплуатационные показатели изделий с покрытиями при механическом воздействии абразивной средой. В результате исследований предложены теоретические принципы разработки оптимальных процессов технологического деформирования изделий с покрытиями и оптимальных конструкций покрытий в процессах эксплуатационного деформирования [56–63].

В конце прошлого столетия под руководством автора в МГТУ предложено новое научное направление – квалитетрия промышленной продукции и производственных процессов в металлургии, разработаны методология и методы комплексной

количественной оценки материальных объектов, являющихся продуктом труда, технологических процессов, процессов организации работы предприятий и учреждений. Направление включает в себя разработку методов структурирования интегрального качества объекта, функционально-целевой анализ качества, исследование качества с использованием метода QFD, исследование взаимодействий отдельных свойств, разработка методов оценки отдельных и комплексных свойств, разработка методов свертки единичных и комплексных оценок в интегральную. Предложенное нами направление основывается на холистическом подходе и теоретических положениях теории систем и системного анализа, исследовании синергетических эффектов, математическом аппарате классической и нечеткой логики [64–71].

В XXI веке кафедра ММТ (зав. кафедрой М.В. Чукин) получила новое мощное дыхание. Создана современная, мирового уровня лабораторно-исследовательская база, выиграны конкурсные программы и гранты (только за последние 5 лет с суммой более 300 млн руб.), где особенно значимы проекты по созданию нового высокотехнологического производства [72–82].

С 2007 г. на кафедре ММТ под руководством проф. М.В. Чукина проводится комплекс научно-исследовательских работ, направленных на установление закономерностей формирования структуры и свойств ультрамелкозернистых (УМЗ) углеродистых сталей, методами деформационного измельчения [83–87]. Под УМЗмы понимаем поликристаллические материалы с размером зерен менее 1000 нм, свойства которых значительно отличаются от свойств крупнозернистых материалов, что определяет реальные возможности их практического применения в разнообразных отраслях науки и техники. Исследования были начаты под руководством М.В. Чукина и Н.В. Копцевой при участии сотрудников Института физики перспективных материалов ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет», которые оказали существенную помощь в осуществлении равноканального углового прессования (РКУП), одного из наиболее эффективных методов деформационного получения УМЗ структуры с размером зерна менее 1000 нм.

Н.В. Копцевой были доказаны феноменологические особенности структурных превращений в углеродистой конструкционной стали при деформационном измельчении зерна до размера 200–500 нм методом РКУП, выявлено влияние на них предварительной термической обработки и последующих деформационного и термического воздействий [86, 88, 89]. Определен механизм влияния структурообразования в углеродистых конструкционных сталях на механические свойства, формирующиеся в процессе РКУП и при последующих деформационно-термических воздействиях, которые характеризуются

ются высоким уровнем прочностных характеристик при сохранении удовлетворительных пластических характеристик и ударной вязкости [89–91]. Раскрыты специфические особенности структурных превращений и механизма рекристаллизации при нагреве УМЗ низко- и среднеуглеродистой стали, объясняющие высокую стабильность ее структуры и свойств при термическом воздействии [92]. Эти результаты вносят вклад в расширение представлений металловедения о фазово-структурных превращениях в сталях при внешних воздействиях и о влиянии структуры на их свойства.

В качестве способа формирования УМЗ структуры материала был разработан метод равноканальной угловой свободной протяжки, реализация которого позволила управлять свойствами металлов в условиях непрерывности технологического процесса изготовления проволоки [84–87].

Полученные результаты показали возможность использования РКУП для получения в дешевых нелегированных сталях свойств, характерных для легированных сталей после упрочняющей термической обработки, для пластифицирования стали и успешного проведения последующей холодной пластической деформации с формированием высоких прочностных характеристик продукции. Была создана база данных, зарегистрированная в государственном реестре, позволяющая прогнозировать комплекс механических свойств УМЗ сталей и обеспечивающая накопление и подготовку исходных данных для создания новых технологических процессов с использованием методов интенсивной пластической деформации (ИПД) при производстве различных видов металлопродукции.

Внедрение результатов исследований позволяет значительно расширить класс конструкционных материалов для изготовления металлических изделий, обладающих повышенными прочностными свойствами, что имеет большое значение для металлургии и машиностроения и приносит существенный экономический эффект.

Эти работы получили развитие в настоящее время: с использованием физического моделирования на современном комплексе Gleeble 3500 в МГТУ исследуется возможность деформационного измельчения и получения УМЗ структуры углеродистой стали методами высокоскоростной и многоциклового горячей пластической деформации [84–96].

М.П. Барышниковым разработан и внедрен новый подход к регламентации поверхностного слоя металлических изделий, заключающийся в рассмотрении зоны контактирования двух поверхностей как некоторой некомпактной пористой среды, где можно выделить две основные области: материал и пустое пространство. Применение такого подхода при рассмотрении процессов контактирования поверхностей позволяет использовать для моделирования и прогнозирования теоретиче-

ские закономерности и математический аппарат, известные в механике некомпактных сред и порошковой металлургии [97, 98]. М.П. Барышниковым предложена методика прогнозирования механических свойств и напряженно-деформированного состояния (НДС) в процессах обработки давлением стальных заготовок с различными структурными неоднородностями (неметаллические включения, газовые поры, направленная структура вследствие неоднородности деформации). Методика основана на представлении металлов как некомпактной среды и реализована методами конечно-элементного и аналитического математического моделирования [99, 100].

Литература

1. Шеркунов, В.Г. *Научные основы и эффективные технологии производства проволоки различного назначения: дис. ... д-ра техн. наук: 05.16.05 / Шеркунов Виктор Георгиевич. – Челябинск, 1992. – 316 с.*
2. Агеев, Л.М. *Разработка новых методов, теории, технологии и оборудования для производства холоднокатаных полос: дис. ... д-ра техн. наук: 05.16.05 / Агеев Леонид Матвеевич. – Челябинск, 1971. – 298 с.*
3. Финкельштейн, Я.С. *Теоретические и технологические основы интенсификации процесса прошивки и улучшения качества гильз на станах поперечно-винтовой прокатки: дис. ... д-ра техн. наук: 05.16.05 / Финкельштейн Яков Семенович. – Челябинск, 1967. – 312 с.*
4. Барков, Л.А. *Основы теории, разработка и внедрение новых процессов прокатки сортовых профилей из труднодеформируемых металлов и сплавов: дис. ... д-ра техн. наук: 05.16.05 / Барков Леонид Андреевич. – Свердловск, 1982.*
5. Дукмасов, В.Г. *Повышение точности проката на основе новых способов и устройств: дис. ... д-ра техн. наук: 05.16.05 / Дукмасов Владимир Георгиевич. – Свердловск, 1985. – 360 с.*
6. Коваль, Г.И. *Теоретические основы и технология новых высокоэффективных процессов шаговой прокатки: дис. ... д-ра техн. наук: 05.16.05 / Коваль Григорий Иванович. – Челябинск, 1990. – 315 с.*
7. Токарь, В.С. *Технологические основы получения высококачественных профилей из тяжелых цветных металлов с использованием эффективных процессов полного цикла: дис. ... д-ра техн. наук (в виде научного доклада): 05.16.05 / Токарь Виктор Степанович. – Магнитогорск, 1996. – 45 с.*
8. Чаплыгин, Б.А. *Создание прогрессивного производства вулканистого инструмента на основе моделирования процессов обработки давлением, новых способов и устройств: дис. ... д-ра техн. наук: 05.16.05; 05.03.05 / Чаплыгин Борис Александрович. – Челябинск, 1999. – 229 с.*
9. Выдрин, А.В. *Теоретический анализ и ма-*

тематическое моделирование процессов прокатки с целью повышения качества продукции: дис. ... д-ра техн. наук: 05.16.05 / Выдрин Александр Владимирович. – Челябинск, 2000. – 361 с.

10. Павлов, В.А. Развитие теории и практики процессов обработки давлением в производстве вулканитового инструмента: дис. ... д-ра техн. наук: 05.03.05 / Павлов Виктор Андреевич. – Магнитогорск, 2001. – 365 с.

11. Козлов, А.В. Развитие теории, технологии и оборудования для холодной гибки труб с воздействием на трубу вращающимся инструментом: дис. ... д-ра техн. наук: 05.02.09 / Козлов Александр Васильевич. – Магнитогорск, 2010. – 273 с.

12. Горохов, Ю.В. Разработка научных основ для промышленного освоения процессов непрерывного прессования способом конформ: дис. ... д-ра техн. наук: 05.16.05 / Горохов Юрий Васильевич. – Красноярск, 2013. – 267 с.

13. Трусовский, В.И. Развитие теории и практики производства заготовок обработкой давлением на основе совершенствования методов анализа НДС, создания новых способов и устройств: дис. ... д-ра техн. наук: 05.03.05 / Трусовский Виктор Иванович. – Магнитогорск, 2014. – 280 с.

14. Поляков, М.Г. Деформация металлов в многовалковых калибрах: моногр. / М.Г. Поляков, Б.А. Никифоров, Г.С. Гун. – М.: Металлургия, 1979. – 240 с.

15. Шеркунов, В.Г. Разработка теоретических и технологических вопросов деформации круглых профилей в многовалковых калибрах: дис. ... канд. техн. наук: 05.16.05 / Шеркунов Виктор Георгиевич. – Челябинск, 1974. – 111 с.

16. Стеблянко, В.Л. Создание технологий получения биметаллической проволоки и покрытий на основе процессов, совмещенных с пластическим деформированием: дис. ... д-ра техн. наук: 05.16.05 / Стеблянко Валерий Леонтьевич. – Магнитогорск, 2000. – 300 с.

17. Стеблянко, В.Л. Очистка и активация поверхности металлов перед плакированием и нанесением покрытий / В.Л. Стеблянко, И.В. Ситников // «Черметинформация»: обзорная информация. – М., 1991. – 22 с.

18. Использование чугунной стружки в качестве сырья для производства порошков / А.А. Гостев, Г.С. Гун, М.В. Чукин и др. // Новые технологии получения слоистых материалов и композиционных покрытий: материалы Междунар. науч.-техн. конф. Сочи. 5–8 октября 1992.

19. Гун, Г.С. Production of Duroble Materials and Products on the basis of steel carbide chromium / Г.С. Гун, И.Ю. Мезин // Advances in Materials & Processes international conference & exhibition. 16–19 февраля 1992. – Бомбей, Индия, 1992.

20. НПО «БелМаг» – 10 лет движения вперед / И.Г. Гун, И.А. Михайловский, Д.С. Осипов и др. –

Магнитогорск: Магнитогорский Дом Печати, 2007. – 104 с.

21. Аркулис, Г.Э. Совместная пластическая деформация разнородных металлов / Г.Э. Аркулис. – М.: Металлургия, 1964. – 272 с.

22. Аркулис, Г.Э. Теория пластичности / Г.Э. Аркулис, В.Г. Дорогобид. – М.: Металлургия, 1987. – 352 с.

23. Производство стальной проволоки: монография / Х.Н. Белалов, Н.А. Клековкина, А.А. Клековкин и др. – Магнитогорск: МГТУ, 2005. – 543 с.

24. Стальная проволока: моногр. / Х.Н. Белалов, Н.А. Клековкина, Г.С. Гун и др. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2011. – 689 с.

25. Кулеша, В.А. Изготовление высококачественных метизов (научный и практический опыт Белорецкого металлургического комбината): моногр. / В.А. Кулеша, Н.А. Клековкина, Х.Н. Белалов. – Белорецк: Магнитогорский Дом Печати, 1999. – 328 с.

26. Производство высокопрочной стальной арматуры для железобетонных шпал нового поколения / М.В. Чукин, А.Г. Корчунов, В.А. Бакишинов и др.; под общ. ред. М.В. Чукина. – М.: Металлургия, 2014. – 276 с.

27. Харитонов, В.А. Направления развития технологических процессов производства проволоки / В.А. Харитонов // Метизное производство в XXI веке: межвуз. сб. науч. тр. – Магнитогорск, 2001. – С. 4–15.

28. Мезин, И.Ю. Развитие теории и технологии формирования металлоизделий холодным прессованием структурно-неоднородных материалов: дис. ... д-ра техн. наук: 24.05.2001 / Мезин Игорь Юрьевич. – Магнитогорск, 2001. – 360 с.

29. Мезин, И.Ю. Формирование металлоизделий из структурно-неоднородных материалов: моногр. / И.Ю. Мезин. – Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2000. – 155 с.

30. Эффективные способы глубокой переработки металла на базе Магнитогорских металлургических предприятий / Г.С. Гун, И.Г. Гун, И.Ю. Мезин и др. // Новые материалы и технологии НМТ-98: материалы Всерос. науч.-техн. конф. – М.: Изд-во «ЛАТМЭС», 1998. – С. 72.

31. Ryabkov, V.M. The principles of developing steel – carbide chrome composite powder materials by cold deformation of porous ingots / V.M. Ryabkov, G.S. Gun, I.Y. Mezin // International Conference “Materials by Powder Technology – PTM 93”, March 23–26, 1993. – Дрезден (ФРГ), 1993.

32. Гун, Г.С. Исследование контактных явлений при развитии консолидации в порошковом материале / Г.С. Гун, И.Ю. Мезин // Материалы Междунар. науч.-техн. конф. «Новые технологии получения слоистых и порошковых материалов, композиционных покрытий». – Сочи, 1993. – С. 115–116.

33. Теоретические и технологические основы производства порошков и изделий регулируемого состава на основе железа / Г.С. Гун, И.Ю. Мезин, И.Г. Гун и др. // *Материалы Российской межвуз. науч.-техн. конф. «Фундаментальные проблемы металлургии»*. – Екатеринбург: УГТУ, 1995. – С. 91.
34. Получение порошковых материалов и изделий (Опыт работы завода «Марс»): моногр. / Г.С. Гун, А.А. Гостев, И.Ю. Мезин и др. – Магнитогорск, 1993. – 112 с.
35. Калибровка профиля петли двери легкового автомобиля ВАЗ / М.Г. Поляков, Б.А. Никифоров, Г.С. Гун и др. // *Теория и практика производства стальных фасонных профилей: сб. науч. тр.* – Магнитогорск: МГМИ, 1971. – Вып. 106.
36. Калибровка таврового профиля для тормозных колодок автомобиля «Москвич» / Г.С. Гун, Ю.П. Богатырев, Л.Е. Кандауров и др. // *Теория и практика производства стальных фасонных профилей: сб. науч. тр.* – Магнитогорск: МГМИ, 1974. – Вып. 140.
37. Поле скоростей при прокатке тавровых профилей в трехвалковых калибрах / Г.С. Гун, Г.Ш. Рубин, Ю.П. Богатырев и др. // *Изв. вузов. Черная металлургия*. – 1979. – № 4.
38. Гун, Г.С. Концепция мини-завода порошковой металлургии с использованием в качестве сырья чугушной стружки / Г.С. Гун, А.А. Гостев, И.Г. Гун // *Новые технологии получения слоистых порошковых материалов, композиционных покрытий: материалы Междунар. науч.-техн. конф. Сочи 7–10 сентября 1993*.
39. Выбор материала и разработка технологии изготовления тормозных элементов дискового тормоза легковых автомобилей методом порошковой металлургии / Г.С. Гун, И.Ю. Мезин, О.Б. Толмачева и др. // *Состояние и перспективы развития научно-технического потенциала Южно-Уральского региона: материалы Межгосуд. науч.-техн. конф.* – Магнитогорск: МГМИ, 1994. – С. 124.
40. Использование порошков из чугунной стружки Магнитогорского металлургического комбината в антифрикционных материалах / Г.С. Гун, И.Ю. Мезин, О.Б. Толмачева и др. // *Обработка сплошных и слоистых материалов: межвуз. сб. науч. тр. / под ред. Г.С. Гуна*. – Магнитогорск: МГМА, 1994. – С. 54–65.
41. Развитие машиностроительного производства в условиях АО ММК / Г.С. Гун, А.А. Гостев, В.А. Куц и др. // *Труды второго конгресса прокатчиков*. – М., 1998. – С. 334–336.
42. Гун, И.Г. Способ чистовой обработки неполных сферических поверхностей обкатыванием / И.Г. Гун, И.А. Михайловский // *Технология машиностроения*. – 2001. – № 4. – С. 12–15.
43. Совершенствование режимов планетарной обкатки головок шаровых пальцев на основе анализа микротопографии поверхности с целью повышения качества изделий / И.А. Михайловский, В.В. Сальников, Д.С. Осипов, И.Г. Гун // *Вестник Череповецкого государственного университета*. – 2011. – № 1 (т. 2). – С. 39–44.
44. Сальников, В.В. Моделирование процесса разрушения шарового шарнира передней подвески автомобиля при осевом нагружении / В.В. Сальников, И.А. Михайловский, И.Г. Гун // *АИИ*. – 2011. – № 2. – С. 51–53.
45. Гун, И.Г. Анализ и совершенствование процесса планетарной обкатки головок шаровых пальцев / И.Г. Гун, И.А. Михайловский // *Совершенствование технологий производства и конструкций автомобильных компонентов: сб. науч. тр.* – М.: ИД «АИИ-ПРЕСС», 2003. – С. 119–123.
46. Михайловский, И.А. Методика проведения и обработка результатов объединенных испытаний верхних шаровых пальцев передней подвески автомобилей ВАЗ 2101–2107 / И.А. Михайловский, И.Г. Гун, В.В. Лапчинский // *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*. – 2004. – № 4 (8). – С. 43–50.
47. Пат. 2263889 Российская Федерация. Стенд для испытаний шаровых шарниров / И.А. Михайловский, И.Г. Гун, Ю.М. Ясаков и др. – БИ и ПМ № 31.
48. Пат. № 2162785 Российская Федерация. Способ обработки неполной сферической головки шарового пальца поверхностным деформированием / И.Г. Гун, О.С. Железков, И.А. Михайловский. – 10.02.2001, Бюл. № 4.
49. Пат. 2475652 Российская Федерация, МКИ F16C 11/06. Шаровой шарнир / И.Г. Гун, В.И. Артюхин, Ю.В. Калмыков и др. – Оpubл. 20.02.2013, Бюл. № 5.
50. Пат. 2501995 Российская Федерация, МКИ F16C 11/06, B62D 7/16. Шаровой шарнир рулевого управления / И.Г. Гун, В.И. Артюхин, Е.И. Гун и др. – Оpubл. 20.12.2013, Бюл. № 35.
51. Шаровые шарниры шасси: совершенствование конструкций, технологий и методов оценки качества: моногр. / И.А. Михайловский, И.Г. Гун, Е.И. Гун, Е.Г. Касаткина. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2014. – 201 с.
52. Разработка, моделирование и совершенствование процессов производства шаровых шарниров автомобилей / И.Г. Гун, И.А. Михайловский, Д.С. Осипов и др. // *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*. – 2014. – № 1 (45). – С. 52–57.
53. Разработка процесса планетарно-поворотной обкатки / И.А. Михайловский, В.И. Куцендик, Е.И. Гун и др. // *Металлургические процессы и оборудование*. – 2014. – № 1. – С. 39–45.
54. Разработка, моделирование и исследование процессов ОМД при производстве шаровых шарниров автомобилей / И.Г. Гун, Д.С. Осипов, И.А. Михайловский и др. // *Инновационные технологии обработки металлов давлением: сб. докл.*

междунар. науч.-техн. конф. – М.: НИТУ «МИСиС», 2011. – С. 482–487.

55. Развитие процессов ОМД в производстве автокомпонентов / В.И. Куцепендик, И.Г. Гун, И.А. Михайловский и др. // XIV International Scientific conference “New technologies and achievements in metallurgy, material engineering and production engineering”: a collective monograph edited by Henryk Dyja, Anna Kawalek. Series: monographs No 31. – Czestochowa, 2013. – P. 309–316.

56. Чукин, М.В. Развитие теории и оптимизация процессов технологического и эксплуатационного деформирования изделий с покрытиями: дис. ... д-ра техн. наук: 05.16.05 / Чукин Михаил Витальевич. – Магнитогорск, 2001. – 398 с.

57. Упрочняющие и восстанавливающие покрытия / Г.С. Гун, В.В. Кривошапов, М.В. Чукин и др. – Челябинск: Металлургия, Челябинское отделение, 1991. – 160 с.

58. Слоистые композиционные покрытия в металлургической промышленности / Е.И. Кузнецов, М.В. Чукин, М.П. Барышников, О.В. Семенова. – Магнитогорск: ПМП «МиниТип», 1997. – Т. 1. – 96 с.

59. Слоистые композиционные покрытия в металлургической промышленности / Е.И. Кузнецов, М.В. Чукин, М.П. Барышников, О.В. Семенова. – Магнитогорск: ПМП «МиниТип», 1997. – Т. 2. – 208 с.

60. Упрочнение прокатных валков напеканием чугуновых порошков / А.А. Гостев, М.В. Чукин, Г.С. Гун и др. // Пути развития машиностроительного комплекса Магнитогорского металлургического комбината: сб. науч. тр. / под ред. А.А. Гостева. – Магнитогорск: МГМА, 1996. – С. 168–171.

61. Гун, Г.С. Кинематика процесса волочения двухслойных композиций с полимерной составляющей / Г.С. Гун, М.В. Чукин, М.П. Барышников // Материалы 5 Междунар. конф. «Пленки и покрытия». – СПб., 1998. – С. 5–8.

62. Чукин, М.В. Развитие теории волочения проволоки с функциональными покрытиями / М.В. Чукин // Материалы Первой Междунар. науч.-техн. конф. «Металлофизика и деформирование перспективных материалов». – Самара, 1999. – С. 36–37.

63. Гун, Г.С. Оптимизация процессов технологического и эксплуатационного деформирования изделий с покрытиями: моногр. / Г.С. Гун, М.В. Чукин. – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2006. – 323 с.

64. Гун, Г.С. Совершенствование технологии производства высокоточных профилей оптимизацией по комплексному критерию качества: дис. ... д-ра техн. наук: 18.09.1985 / Гун Геннадий Семенович. – М., 1985. – 276 с.

65. Гун Г.С. Управление качеством высокоточных профилей: моногр. / Г.С. Гун. – М.: Металлургия, 1984. – 152 с.

66. Гун, Г.С. Расчет комплексного показателя качества на примере оценки качества стальных фасонных высокоточных профилей / Г.С. Гун,

С.Б. Сторожев // Стандарты и качество. – 1978. – № 1.

67. Гун, Г.С. Метод комплексной оценки качества металлопродукции / Г.С. Гун // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1982. – № 8.

68. Комплексная оценка качества стальной канатной проволоки / Г.С. Гун, Г.Ш. Рубин, Е.А. Пудов и др. // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1983. № 12.

69. Гун, Г.С. Теоретическое обоснование комплексной оценки качества металлопродукции / Г.С. Гун // Известия АН СССР. – Металлы. – 1983. – № 4.

70. Гун, Г.С. Критерии управления качеством процесса изготовления фасонных профилей / Г.С. Гун // Известия АН СССР. Металлы. – 1984. – № 2.

71. Михайловский, И.А. Повышение результативности производства шаровых шарниров на основе регламентации комплекса требований к качеству изделий и материалов: дис. ... д-ра техн. наук: 05.02.23 / Михайловский Игорь Александрович. – Магнитогорск, 2011. – 310 с.

72. Высокопрочная арматура для железобетонных шпал нового поколения / С.Н. Ушаков, М.В. Чукин, Г.С. Гун и др. // Путь и путевое хозяйство. – 2012. – № 11. – С. 25–28.

73. Перспективы производства высокопрочной стальной арматуры для железобетонных шпал нового поколения на основе термомодеформационного наноструктурирования / М.В. Чукин, Г.С. Гун, А.Г. Корчунов, М.А. Полякова // Черная металлургия: Бюллетень Черметинформация. – 2012. – Вып. 4. – С. 100–105.

74. Перспективы производства высокопрочной стальной арматуры для железобетонных шпал нового поколения на основе термомодеформационного наноструктурирования / М.В. Чукин, Г.С. Гун, А.Г. Корчунов и др. // Неделя металлов в Москве: сб. тр. конф. 15–18 ноября 2011. – М.: ВНИИМЕТМАШ, 2012. – С. 79–87.

75. Chukin, M. Производство высокопрочной наноструктурированной арматуры для железобетонных шпал / M. Chukin, G. Gun, D. Emaleeva // XIII International Scientific conference “New technologies and achievements in metallurgy and materials engineering”: a collective monograph edited by Henryk Dyja, Anna Kawalek. Series: monographs No 24. – Czestochowa, 2012. – P. 327–332.

76. Перспективы производства высокопрочной стальной арматуры из высокоуглеродистых марок стали / М.В. Чукин, Г.С. Гун, А.Г. Корчунов, М.А. Полякова // Черные металлы. – Декабрь 2012. – С. 8–15.

77. Организация малотоннажного производства наноструктурированных заготовок из многофункциональных сплавов со специальными свойствами / В.М. Колокольцев, М.В. Чукин, Г.С. Гун и др. // Труды IX конгресса прокатчиков. Черепов-

вей, 16–18 апреля 2013. – Череповец, 2013. – Т. 1. – С. 248–251.

78. Исследование влияния технологических режимов на механические свойства и микроструктуру высокопрочной арматуры диаметром 9,6 мм / М.В. Чукин, Г.С. Гун, А.Г. Корчунов и др. // IX International Scientific conference “New technologies and achievements in metallurgy and materials engineering”: a collective monograph edited by Henryk Dyja, Anna Kawalek. Series: monographs No 31. – Czestochowa, 2013. – P. 367–373.

79. Реализация проекта малотоннажного производства наноструктурированных заготовок из многофункциональных сплавов со специальными свойствами / М.В. Чукин, Г.С. Гун, Э.М. Голубчик и др. // XIV International Scientific conference “New technologies and achievements in metallurgy and materials engineering”: a collective monograph edited by Henryk Dyja, Anna Kawalek. Series: monographs No 31. – Czestochowa, 2013. – P. 374–378.

80. Nanodimensional in high carbon steel structural part formation by thermal and deformation processing / M.V. Chukin, A.G. Korchunov, G.S. Gun et al. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2013. – № 5 (45). – P. 33–35.

81. Перспективы производства высокопрочного крепежа из заготовок из углеродистых сталей с ультрамелкозернистой структурой / М.В. Чукин, М.А. Полякова, Г.Ш. Рубин и др. // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2014. – № 1. – С. 39–44.

82. Исследование физико-механических свойств и структуры высокопрочных многофункциональных сплавов инварного класса нового поколения / М.В. Чукин, Э.М. Голубчик, Г.С. Гун и др. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2014. – № 1 (45). – С. 43–48.

83. Исследование эволюции структур наносталей 20 и 45 при критических степенях пластической деформации / М.В. Чукин, Р.З. Валиев, Г.И. Рааб и др. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2007. – № 4 (20). – С. 89–93.

84. Исследование формирования субмикроструктурной структуры поверхностного слоя стальной проволоки с целью повышения уровня ее механических свойств / Г.С. Гун, М.В. Чукин, Д.Г. Емалеева и др. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2007. – № 3 (19). – С. 84–86.

85. Формирование субмикроструктурной структуры поверхностного слоя стальной проволоки методом РКУ-протяжки / Г.С. Гун, М.В. Чукин, Д.Г. Емалеева и др. // Труды седьмого конгресса прокатчиков. – М., 2007. – Т. 1. – С. 364–368.

86. Дифракционный электронно-микроскопический анализ субмикроструктурной и нано-

кристаллической структуры конструкционных углеродистых сталей после равноканального углового прессования и последующего деформирования / М.В. Чукин, Н.В. Копцева, Р.З. Валиев и др. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2008. – № 1 (21). – С. 31–37.

87. Наноструктурирование сталемедной биметаллической проволоки / Ю.Ю. Ефимова, Н.В. Копцева, В.В. Чукин и др. // Материалы 66-й науч.-техн. конф. – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2008. – Т. 1. – С. 49–52.

88. Влияние температуры и длительности нагрева на термостабильность углеродистых конструкционных сталей с ультрамелкозернистой структурой, сформированной методом равноканального углового прессования / Н.В. Копцева, Ю.Ю. Ефимова, М.П. Барышников, Д.А. Михоленко // Деформация и разрушение материалов. – 2011. – № 8. – С. 14–20.

89. Исследование структуры и свойств болтов, изготовленных из наноструктурированных углеродистых сталей / Ю.Ю. Ефимова, Н.В. Копцева, В.В. Чукин и др. // Обработка сплошных и слоистых материалов: межвуз. сб. науч. тр. / под ред. М.В. Чукина. – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2008. – № 38. – С. 144–150.

90. Копцева, Н.В. Эволюция микроструктуры и свойств при нагреве феррито-перлитных углеродистых конструкционных сталей с ультрамелкозернистой структурой, сформированной интенсивной пластической деформацией / Н.В. Копцева, Д.А. Михоленко, Ю.Ю. Ефимова // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2011. – Т. 7, № 9. – С. 85–91.

91. Инновационный потенциал новых технологий производства метизных изделий из наноструктурных сталей / М.В. Чукин, Н.В. Копцева, М.П. Барышников и др. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2009. – № 2 (26). – С. 64–68.

92. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2010620405 Российская Федерация. Микроструктура и физико-механические свойства объемных ультрамелкозернистых материалов / Н.В. Копцева, М.А. Полякова, Ю.Ю. Ефимова и др. – № 201062026; заявл. 07.06.2010; опублик. 20.12.2010, Бюл. ОБПБТ № 4 (75). – С. 551.

93. Влияние предварительной термической обработки на структуру и свойства углеродистых конструкционных сталей 20 и 45, наноструктурированных методом равноканального углового прессования / Н.В. Копцева, Ю.Ю. Ефимова, М.В. Чукин, М.А. Полякова // Черные металлы (пер. с нем.). – 2010. – Июль. – С. 14–19.

94. Формирование структуры и механических свойств углеродистой конструкционной стали в процессе наноструктурирования методом равно-

Обработка металлов давлением

канального углового прессования / Н.В. Копцева, Ю.Ю. Ефимова, М.П. Барышников, О.А. Никитенко // Деформация и разрушение материалов. – 2011. – № 7. – С. 11–17.

95. Criterion estimation of severe plastic deformation efficiency from the position of their influence on the carbon steel structures evolution / M.V. Chuikin, N.V. Korceva, J.J. Efimova et al. // CIS Iron and Steel Review. – 2010. – P. 28–31.

96. Механические свойства углеродистой конструкционной стали с ультрамелкозернистой структурой / М.В. Чукин, Н.В. Копцева, О.А. Никитенко, Ю.Ю. Ефимова // Черные металлы, специальный выпуск. – 2011. – С. 54–59.

97. Чукин, М.В. Методика оценки коэффициента пропорциональности в процессах ОМД с применением средств объектно-ориентированного программирования / М.В. Чукин, М.П. Барышников, А.О. Беляев // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2008. – № 4 (24). – С. 76–79.

98. Чукин, М.В. Подход к определению коэффициента трения в задачах обработки металлов давлением на основе представления области контакта как некомпактной среды / М.В. Чукин, М.П. Барышников, А.О. Беляев // Известия вузов. Черная металлургия. – М.: НИТУ «МИСиС». – 2010. – № 3. – С. 25–28.

99. Барышников, М.П. Анализ программных комплексов для расчета напряженно-деформированного состояния композиционных материалов в процессах обработки давлением / М.П. Барышников, М.В. Чукин, А.Б. Бойко // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2012. – № 4 (40). – С. 72–74.

100. Моделирование процесса волочения проволоки с учетом неоднородности структуры в программном комплексе SIMULIA ABAQUS / М.П. Барышников, М.В. Чукин, Г.С. Гун, А.Б. Бойко // Пластическая деформация металлов. – Днепропетровск, 2014. – С. 156–158.

Гун Геннадий Семенович, д-р техн. наук, профессор, советник ректора, профессор кафедры машиностроительных и металлургических технологий Института металлургии, машиностроения и материаловедения, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск; mgtu@magtu.ru.

Поступила в редакцию 11 марта 2015 г.

DEVELOPMENT OF THE THEORY OF METAL FORMING PROCESSES (SCIENTIFIC REVIEW). PART 1

G.S. Gun, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation, mgtu@magtu.ru

The paper describes the role of metallurgists-researchers from Chelyabinsk and Magnitogorsk in the development of the theory and practice of metal forming processes. Significant contribution to the creation of new forming processes was made by V.N. Vydrin, the organizer of the Rolling Department of the Chelyabinsk Polytechnical Institute (now South Ural State University). He founded a problem laboratory “New Technologies and Processes of Rolling”, one of a few laboratories in higher educational institutions of the country. In this laboratory the staff of the Rolling Department under the guidance of Prof. V.N. Vydrin solved theoretical issues on the basis of the energy theory and developed new technological processes of rolling and equipment for the implementation of these processes. Examples of such developments are creation of rolling-drawing and rolling-forging processes, rolling in multiroll openings, rolling of periodic profiles, rolling of high-preparedness shape profiles and roll-die drawing. The work done by the department in the field of continuous rolling and scientific schools of V.N. Vydrin and M.I. Boyarshinov who worked in effective cooperation on the development of the rolling theory in multiroll openings should also be mentioned.

The staff of the department “Machine-Building and Metallurgical Technologies” of the G.I. Nosov Magnitogorsk State Technical University is working effectively in the field of bimetal wire production, powder metallurgy, production of layered composites. Much work is also done in the field of hardware production, designing and formation of coatings in metal forming processes, qualimetry of metallurgical products and processes, formation of the structure and properties of ultra-fine grained carbon steels by strain-induced structure refinement. A new technique for prognosticating mechanical properties and the stress-strain state in the processes of forming steel billets with a variety of structural heterogeneity is proposed.

Keywords: Vydrin V.N., Sherkunov V.G., quality, metal forming processes, hardware production, systems approach.

References

1. Sherkunov V.G. *Nauchnye osnovy i effektivnye tekhnologii proizvodstva provoloki razlichnogo naznacheniya*. Dokt. diss. [Scientific Fundamentals and Efficient Technologies for the Production of Wire for Different Purposes. Doct. Diss.] Chelyabinsk, 1992. 316 p.
2. Ageev L.M. *Razrabotka novykh metodov, teorii, tekhnologii i oborudovaniya dlya proizvodstva kholodno-katanykh polos*. Dokt. diss. [Development of the New Methods, Theory, Technology and Equipment for Cold Rolled Strips Production. Doct. Diss.] Chelyabinsk, 1971. 298 p.
3. Finkel'shteyn Ya.S. *Teoreticheskie i tekhnologicheskie osnovy intensivifikatsii protsessa proshivki i uluchsheniya kachestva gil'z na stanakh poperechno-vintovoy prokatki*. Dokt. diss. [Theoretical and Technological Fundamentals of the Perforation Process Intensification and Quality Improvement of the Sleeves for Cross-Helical Rolling Mills. Doct. Diss.] Chelyabinsk, 1967. 312 p.
4. Barkov L.A. *Osnovy teorii, razrabotka i vnedrenie novykh protsessov prokatki sortovykh profiley iz trudnodeformiruemyykh metallov i splavov*. Dokt. diss. [Fundamentals of the Theory, Development and Implementation of New Rolling Processes of the Section Bars of Hardly-Deformed Metals and Alloys. Doct. Diss.] Sverdlovsk, 1982. 330 p.
5. Dukmasov V.G. *Povyshenie tochnosti prokata na osnove novykh sposobov i ustroystv*. Dokt. diss. [Improving the Accuracy of Rolled Metal by Means of New Methods and Devices. Doct. Diss.] Sverdlovsk, 1985. 360 p.
6. Koval' G.I. *Teoreticheskie osnovy i tekhnologiya novykh vysokoeffektivnykh protsessov shagovoy prokatki*. Dokt. diss. [Fundamentals and Technology of New High-Efficiency Step-Rolling Processes. Doct. Diss.] Chelyabinsk, 1990. 315 p.
7. Tokar' V.S. *Tekhnologicheskie osnovy polucheniya vysokokachestvennykh profiley iz tyazhelykh tsvetnykh metallov s ispol'zovaniem effektivnykh protsessov polnogo tsikla*. Dokt. diss. [Technological Fundamentals of Production of the High-Quality Profiles of Heavy Non-Ferrous Metals Using Highly Efficient Full-Cycle Processes. Doct. Diss.] Magnitogorsk, 1996. 45 p.
8. Chaplygin B.A. *Sozdanie progressivnogo proizvodstva vukanitovogo instrumenta na osnove modelirovaniya protsessov obrabotki davleniem, novykh sposobov i ustroystv*. Dokt. diss. [Creation of Progressive Production of Vulcanite Tools Based on Modeling of Forming Processes, New Methods and Devices. Doct. diss.] Magnitogorsk, 1999. 229 p.
9. Vydrin A.V. *Teoreticheskiy analiz i matematicheskoe modelirovanie protsessov prokatki s tsel'yu povyshe-niya kachestva produktsii*. Dokt. diss. [Theoretical Analysis and Mathematical Simulation of Rolling Processes in Order to Improve the Products Quality. Doct. Diss.] Chelyabinsk, 2000. 361 p.
10. Pavlov V.A. *Razvitie teorii i praktiki protsessov obrabotki davleniem v proizvodstve vukanitovogo instrumenta*. Dokt. diss. [Development of the Theory and Practice of Pressure Treatment Processes in the Production of Vulcanite Tool. Doct. Diss.] Magnitogorsk, 2001. 365 p.
11. Kozlov A.V. *Razvitie teorii, tekhnologii i oborudovaniya dlya kholodnoy gibki trub s vozdeystviem na trubu vrashchayushchimsya instrumentom*. Dokt. diss. [Development of the Theory, Technology and Equipment for Cold Bending of Pipes Under the Action of a Rotating Tool on the Pipe. Doct. Diss.] Magnitogorsk, 2010. 273 p.
12. Gorokhov Yu.V. *Razrabotka nauchnykh osnov dlya promyshlennogo osvoeniya protsessov nepreryvnoy pressovaniya sposobom konform*. Dokt. diss. [Development of Scientific Fundamentals for Industrial Application of Continuous Extrusion Process Conform. Doct. Diss.] Krasnoyarsk, 2013. 267 p.
13. Truskovskiy V.I. *Razvitie teorii i praktiki proizvodstva zagotovok obrabotkoy davleniem na osnove sover-shenstvovaniya metodov analiza NDS, sozdaniya novykh sposobov i ustroystv*. Dokt. diss. [Development of the Theory and Practice of Billets Production with Pressure Treatment on the Basis of Improving of the Analysis Technique of Stress-Strain Behavior, Creation of New Methods and Devices. Doct. Diss.] Magnitogorsk, 2014. 280 p.
14. Polyakov M.G., Nikiforov B.A., Gun G.S. *Deformatsiya metallov v mnogovalkovykh kalibrakh* [Deformation of Metals in Multirolled Tools]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1979. 240 p.
15. Sherkunov V.G. *Razrabotka teoreticheskikh i tekhnologicheskikh voprosov deformatsii kruglykh profiley v mnogovalkovykh kalibrakh*. Kand. diss. [Development of Theoretical and Technological Aspects of the Round Profiles Deformation in Multirolled Tools. Cand. Diss.] Chelyabinsk, 1974. 111 p.
16. Steblyanko V.L. *Sozdanie tekhnologiy polucheniya bimetallicheskoj provoloki i pokrytiy na osnove protsessov, sovmeshchennykh s plasticheskim deformirovaniem*. Dokt. diss. [Creation of Technologies for Bimetal Wire and Coatings Production Based on Processes Combined with Plastic Deformation. Doct. Diss.] Magnitogorsk, 2000. 300 p.
17. Steblyanko V.L., Sitnikov I.V. [Cleaning and Activating Metal Surfaces Before Plating and Coating Processes]. *Chermetinformatsiya: Obzornaya informatsiya*. Moscow, 1991. 22 p. (in Russ.)
18. Gostev A.A., Gun G.S., Chukin M.V., Mezin I.Yu. et al. [Usage of Pig Iron Chips As Raw Materials for Powder Production]. *Novye tekhnologii polucheniya sloistykh materialov i kompozitsionnykh pokrytiy: Materially*

Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii [New Technologies for Obtaining Laminated Materials and Composite Coatings: Proceedings of the International Scientific and Technical Conference]. Sochi, 1992. (in Russ.)

19. Gun G.S., Mezin I.Yu. [Production of Durable Materials and Products on the Basis of Steel Carbide Chromium]. *Advances in Materials & Processes International Conference & Exhibition*. Mumbai, 1992.

20. Gun I.G., Mikhaylovskiy I.A., Osipov D.S. et al. *NPO "BelMag" - 10 let dvizheniya vpered* [NPO BelMag – 10 Years of Moving Ahead]. Magnitogorsk, Magnitogorsk Publishing House Publ., 2007. 104 p.

21. Arkulis G.E. *Sovmestnaya plasticheskaya deformatsiya raznorodnykh metallov* [Joint Plastic Deformation of Dissimilar Metals]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1964. 272 p.

22. Arkulis G.E., Dorogobid V.G. *Teoriya plastichnosti* [The Theory of Plasticity]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1987. 352 p.

23. Belalov Kh.N., Klekovkina N.A., Klekovkin A.A., Nikiforov B.A., Gun G.S., Korchunov A.G., Zyuzin V.I., Kulesha V.A., Savel'yev E.V. *Proizvodstvo stal'noy provoloki* [Production of Steel Wire]. Magnitogorsk, Nosov MSTU Publ., 2005. 543 p.

24. Belalov Kh.N., Klekovkina N.A., Gun G.S., Korchunov A.G., Polyakova M.A. *Stal'naya provoloka* [Steel Wire]. Magnitogorsk, Nosov MSTU Publ., 2011. 689 p.

25. Kulesha V.A., Klekovkina N.A., Belalov Kh.N. *Izgotovlenie vysokokachestvennykh metizov (nauchnyy i prakticheskiy opyt Beloretskogo metallurgicheskogo kombinata)* [Production of High Quality Metalware (Scientific and Practical Experience of Beloretsk Iron and Steel Works)]. Magnitogorsk, Magnitogorsk Publishing House Publ., 1999. 328 p.

26. Chukin M.V., Korchunov A.G., Bakshinov V.A., Baryshnikov M.P., Gun G.S., Dolgiy D.K., Efimova Yu.Yu., Kolokol'tsev V.M., Koptseva N.V., Kuranov K.Yu., Lebedev V.N., Mezin I.Yu., Polyakova M.A., Chukin V.V. *Proizvodstvo vysokoprochnoy stal'noy armatury dlya zhelezobetonnykh shpal novogo pokoleniya* [Production of the High-Tensile Steel Reinforcement for Ferroconcrete Sleepers of a New Generation]. Moscow, Metallurgizdat Publ., 2014. 276 p.

27. Kharitonov V.A. [Trends in Wire Manufacturing Processes]. *Metiznoe proizvodstvo v XXI veke* [Metalware Production in the 21st Century]. Magnitogorsk, 2001, pp. 4–15. (in Russ.)

28. Mezin I.Yu. *Razvitie teorii i tekhnologii formirovaniya metalloizdeliy kholodnym pressovaniem strukturno-neodnorodnykh materialov*. Dokt. diss. [Development of a Theory and Technology of Working Metal Products by Cold Pressing of Structurally Heterogeneous Materials. Doct. Diss.]. Magnitogorsk, 2001. 360 p.

29. Mezin I.Yu. *Formirovanie metalloizdeliy iz strukturno-neodnorodnykh materialov* [Formation of Metal Products from Structurally Heterogeneous Materials]. Magnitogorsk, Nosov MSTU Publ., 2000. 155 p.

30. Gun G.S., Gun I.G., Mezin I.Yu. et al. [Efficient Downstream Steel Processing Techniques at Magnitogorsk Iron and Steel Works]. *Novye materialy i tekhnologii NMT-98: Materialy Vserossiyskoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii* [New Materials and Technologies NMT-98: Materials of the All-Russian Scientific and Technical Conference]. Moscow: Latmes Publ., 1998, p. 72. (in Russ.)

31. Ryabkov V.M., Gun G.S., Mezin I.Yu. The Principles of Developing Steel – Carbide Chrome Composite Powder Materials by Cold Deformation of Porous Ingots. *International Conference "Materials by Powder Technology – PTM 93"*. Dresden, 1993.

32. Gun G.S., Mezin I.Yu. [Investigation of Contact Phenomena During Consolidation Process in Powder Material]. *Novye tekhnologii polucheniya sloistykh i poroshkovykh materialov, kompozitsionnykh pokrytiy: Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii* [New Technologies for Obtaining Laminated and Powder Materials, Composite Coatings: Proceedings of the International Scientific and Technical Conference]. Sochi, 1993, pp. 115–116. (in Russ.)

33. Gun G.S., Mezin I.Yu., Gun I.G. et al. [Theoretical and Technological Principles of Manufacturing Iron-Base Powders and Items with a Varied Composition]. *Materialy Rossiyskoy mezhvuzovskoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii "Fundamental'nye problemy metallurgii"* [Proceedings of the All-Russian Interuniversity Scientific and Technical Conference "Fundamental Problems in Metallurgy"]. Yekaterinburg, USTU Publ., 1995, p. 91. (in Russ.)

34. Gun G.S., Gostev A.A., Mezin I.Yu., Kozodaev E.G., Timoshenko I.F., Gun I.G. *Poluchenie poroshkovykh materialov i izdeliy (opyt raboty zavoda "Mars")* [Receiving of Powder Materials and Products (Experience of the Mars Plant)]. Magnitogorsk, 1993. 112 p.

35. Polyakov M.G., Nikiforov B.A., Gun G.S. et al. [Calibration of a VAZ Car Hinge Profile]. *Teoriya i praktika proizvodstva stal'nykh fasonnykh profiley. Vyp. 106* [Theory and Practice of Steel Shaped Profile Production. Vol. 106]. Magnitogorsk, MGMI Publ., 1971. (in Russ.)

36. Gun G.S., Bogatyrev Yu.P., Kandaurov L.E. et al. [Calibration of a T-Shape Profile for the Moskvich Brake Block]. *Teoriya i praktika proizvodstva stal'nykh fasonnykh profiley. Vyp. 140* [Theory and Practice of Steel Shaped Profile Production. Vol. 140]. Magnitogorsk, MGMI Publ., 1974. (in Russ.)

37. Gun G.S., Rubin G.Sh., Bogatyrev Yu.P. et al. [Field of Velocities During T-Shape Profile Rolling in Three-Roll Passes]. *Izvestiya VUZ. Chernaya Metallurgiya*, 1979, no. 4. (in Russ.)

38. Gun G.S., Gostev A.A., Gun I.G. [A Conception of a Powder Metallurgy Mini-Plant Using Pig Iron Chips as an Input Material]. *Novye tekhnologii polucheniya sloistykh i poroshkovykh materialov, kompozitsionnykh pokrytiy: Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [New Technologies for Obtaining Laminated and Powder Materials, Composite Coatings: Proceedings of the International Scientific and Technical Conference]. Sochi, 1993. (in Russ.)
39. Gun G.S., Mezin I.Yu., Tolmacheva O.B., Gun I.G., Gostev A.A., Kozodaev E.G. et al. [Selection of Materials and Development of a Manufacturing Technique for Brake Elements of a Light Vehicle Disc-Type Brake Using Powder Metallurgy Methods]. *Sostoyanie i perspektivy razvitiya nauchno-tekhnicheskogo potentsiala Yuzhno-Uralskogo regiona: Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [State and Development Prospects of the Scientific and Technical Potential of the South Ural Region. Proceedings of the International Scientific and Technical Conference]. Magnitogorsk, MGMI Publ., 1994, p. 124. (in Russ.)
40. Gun G.S., Mezin I.Yu., Tolmacheva O.B., Gun I.G., Gostev A.A., Kozodaev E.G. et al. [Using Pig Iron Chips from Magnitogorsk Iron and Steel Works for Antifriction Materials Production]. *Obrabotka sploshnykh i sloistykh materialov* [Solid and Laminated Materials Processing. Gun G.S. (Ed.)]. Magnitogorsk, MGMA Publ., pp. 54–65. (in Russ.)
41. Gun G.S., Gostev A.A., Kuts V.A., Khrebtov V.E., Gun I.G. [Mechanical Engineering Complex Development at OJSC MMK]. *Trudy Vtorogo kongressa prokatchikov* [Proceedings of the 2nd Congress of Rolling Mill Engineers]. Moscow, 1998, pp. 334–336. (in Russ.)
42. Gun I.G., Mikhaylovskiy I.A. [Method of Finishing Partial Spherical Surfaces by Rolling]. *Tekhnologiya mashinostroeniya*, 2001, no. 4, pp. 12–15. (in Russ.)
43. Mikhaylovskiy I.A., Sal'nikov V.V., Osipov D.S., Gun I.G. [Improvement of Ball Joint Head Planetary Rolling Modes Based on the Surface Microtopography Analysis to Increase the Quality of Products]. *Vestnik of the Cherepovets St. Univ.*, 2011, vol. 2, no. 1, pp. 39–44. (in Russ.)
44. Sal'nikov V.V., Mikhaylovskiy I.A., Gun I.G. [Simulating a Damage Process of a Car Front Suspension Ball-And-Socket Joint at Axial Loading]. *Zhurnal avtomobil'nykh inzhenerov*, 2011, no. 2, pp. 51–53. (in Russ.)
45. Gun I.G., Mikhaylovskiy I.A. [Analysis and Improvement of a Ball Joint Head Planetary Rolling Process]. *Sovershenstvovanie tekhnologii proizvodstva i konstruktivnykh avtomobil'nykh komponentov* [Improvement of Technological Processes and Car Components Design]. Moscow, AAI-Press Publ., 2003, pp. 119–123. (in Russ.)
46. Mikhaylovskiy I.A., Gun I.G., Lapchinskiy V.V. [Implementation Method and Analysis of a Consolidated Test of VAZ 2101-2107 Front Suspension Upper Ball Joints]. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk St. Techn. Univ.*, 2004, no. 4 (8), pp. 43–50. (in Russ.)
47. Mikhaylovskiy I.A., Gun I.G., Yasakov Yu.M., Lapchinskiy V.V. *Stend dlya ispytaniy sharovykh sharnirov* [A Test Bench for Ball-and-Socket Joints]. Patent RF, no. 2263889, 2005.
48. Gun I.G., Zhelezkov O.S., Mikhaylovskiy I.A. *Sposob obrabotki nepolnoy sfericheskoy golovki sharovogo pal'tsa poverkhnostnym deformirovaniem* [A Method of Processing a Partially Spherical Ball Joint Head by Surface Deformation]. Patent RF, no. 2162785, 2001.
49. Gun I.G., Artyukhin V.I., Kalmykov Yu.V., Levchenko P.E., Sal'nikov V.V., Gun E.I. *Sharovoy sharnir* [A Ball-and-Socket Joint]. Patent RF, no. 2475652, 2013.
50. Gun I.G., Artyukhin V.I., Gun E.I., Kalmykov Yu.V., Sal'nikov V.V., Kutsependik V.I. *Sharovoy sharnir rulevogo upravleniya* [A Steering Ball-and-Socket Joint]. Patent RF, no. 2501995, 2013.
51. Mikhaylovskiy I.A., Gun I.G., Gun E.I., Kasatkina E.G. *Sharovye sharniry shassi: Sovershenstvovanie konstruktivnykh tekhnologii i metodov otsenki kachestva* [Chassis Ball-and-Socket Joints: Improvement of Construction, Manufacturing Technologies and Quality Control Methods]. Magnitogorsk, Nosov MSTU Publ., 2014. 201 p.
52. Gun I.G., Mikhaylovskiy I.A., Osipov D.S., Kutsependik V.I., Sal'nikov V.V., Gun E.I., Smirnov A.I.V., Smirnov A.V. [The Development, Modeling and Improvement of Automotive Ball Joint Manufacturing Processes]. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk St. Techn. Univ.*, 2014, no. 1 (45), pp. 52–57. (in Russ.)
53. Mikhaylovskiy I.A., Kutsependik V.I., Gun E.I., Gun I.G., Sal'nikov V.V. [Development of Planetary-Rotating Rolling]. *Metallurgicheskie protsessy i oborudovanie*, 2014, no. 1, pp. 39–45. (in Russ.)
54. Gun I.G., Osipov D.S., Mikhaylovskiy I.A., Kalmykov Yu.V., Kutsependik V.I., Sal'nikov V.V., Gun E.I. [Development, Simulation and Investigation of Metal Forming Processes During Car Ball-and-Socket Joint Manufacturing]. *Innovatsionnye Tekhnologii Obrabotki Metallov Davleniem: Sbornik dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Innovative Technologies of Metal Forming: Papers of the International Scientific and Technical Conference]. Moscow, MISiS Publ., 2011, pp. 482–487. (in Russ.)
55. Kutsependik V.I., Gun I.G., Mikhaylovskiy I.A., Osipov D.S., Sal'nikov V.V., Gun E.I., Smirnov A.V., Smirnov A.I.V. [Development of Metal Forming Processes to Produce Car Components]. *XIV International Scientific Conference "New Technologies and Achievements in Metallurgy, Material Engineering and Production Engineering". Series Monographs, No. 31*. Dyja H., Kawalek A. (Eds.). Czestochowa, 2013, pp. 309–316. (in Russ.)
56. Chukin M.V. *Razvitie teorii i optimizatsiya protsessov tekhnologicheskogo i ekspluatatsionnogo deformirovaniya izdeliy s pokrytiami*. Dokt. diss. [Theory Development and Optimization of Technological and Operational Deformation Processes for Coated Products. Doct. Diss.]. Magnitogorsk, 2001. 398 p.

57. Gun G.S., Krivoschchapov V.V., Chukin M.V., Adamchuk V.S., Tsun A.M. *Uprochnyayushchie i vosstanavlivayushchie pokrytiya* [Strengthening and Recovering Coatings]. Chelyabinsk, Metallurgiya Publ., 1991. 160 p.
58. Kuznetsov E.I., Chukin M.V., Baryshnikov M.P., Semenova O.V. *Sloistye kompozitsionnye pokrytiya v metiznoy promyshlennosti. Tom 1* [Laminated Composite Coatings in the Metalware Industry. Vol. 1]. Magnitogorsk, MiniTip Publ., 1997. 96 p.
59. Kuznetsov E.I., Chukin M.V., Baryshnikov M.P., Semenova O.V. *Sloistye kompozitsionnye pokrytiya v metiznoy promyshlennosti. Tom 2* [Laminated Composite Coatings in the Metalware Industry. Vol. 2]. Magnitogorsk, MiniTip Publ., 1997. 208 p.
60. Gostev A.A., Chukin M.V., Gun G.S. et al. [Hardening of Mill Rolls by Pig Iron Powder Sintering]. *Puti razvitiya mashinostroitel'nogo kompleksa Magnitogorskogo metallurgicheskogo kombinata* [Development Tendencies of the Mechanical Engineering Complex of the Magnitogorsk Iron and Steel Works]. Magnitogorsk, MGMA Publ., 1996, pp. 168–171. (in Russ.)
61. Gun G.S., Chukin M.V., Baryshnikov M.P. [Kinematics of Drawing of Bilayered Composite Materials with a Polymer Matrix]. *Materialy 5-y Mezhdunarodnoy konferentsii "Plenki i pokrytiya"* [Proceedings of the 5th International Conference "Films and Coatings"]. St. Petersburg, 1998, pp. 5–8. (in Russ.)
62. Chukin M.V. [Development of a Theory of Functional Coating Wire Drawing]. *Materialy Pervoy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii "Metallofizika i deformirovanie perspektivnykh materialov"* [Proceedings of the First International Scientific and Technical Conference "Physics of Metals and Prospective Material Deformation"]. Samara, 1999, pp. 36–37. (in Russ.)
63. Gun G.S., Chukin M.V. *Optimizatsiya protsessov tekhnologicheskogo i ekspluatatsionnogo deformirovaniya izdeliy s pokrytiami* [Optimization of Technological and Operational Deformation Processes for Coated Products]. Magnitogorsk, Nosov MSTU Publ., 2006. 323 p.
64. Gun G.S. *Sovershenstvovanie tekhnologii proizvodstva vysokotochnykh profiley optimizatsiey po kompleksnomu kriteriyu kachestva*. Dokt. diss. [Improvement of the High-Precision Profile Manufacturing Technology by Optimization of a Complex Quality Criterion. Doct. Diss.]. Moscow, 1985. 276 p.
65. Gun G.S. *Upravlenie kachestvom vysokotochnykh profiley* [Quality Management of High-Precision Profiles]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1984. 152 p.
66. Gun G.S., Storozhev S.B. [Calculation of a Complex Quality Criterion by the Example of a Quality Evaluation of High-Precision Steel Shaped Profiles]. *Standarty i kachestvo*, 1978, no. 1. (in Russ.)
67. Gun G.S. [A Method of Complex Metal Products Quality Evaluation]. *Izvestiya VUZ. Chernaya Metallurgiya*, 1982, no. 8. (in Russ.)
68. Gun G.S., Rubin G.Sh., Pudov E.A. et al. [Complex Steel Rope Wire Quality Evaluation]. *Izvestiya VUZ. Chernaya Metallurgiya*, 1983, no. 12. (in Russ.)
69. Gun G.S. [A Theoretical Justification of a Complex Metal Products Quality Evaluation]. *Izvestiya AN SSSR. Metally*, 1983, no. 4. (in Russ.)
70. Gun G.S. [Criteria of Shaped Profile Manufacturing Process Quality Management]. *Izvestiya AN SSSR. Metally*, 1984, no. 2. (in Russ.)
71. Mikhaylovskiy I.A. *Povyshenie rezul'tativnosti proizvodstva sharovykh sharnirov na osnove reglamentatsii kompleksa trebovaniy k kachestvu izdeliy i materialov*. Dokt. diss. [Increasing Performance of a Ball-and-Socket Joint Manufacturing Process by Regulating a Set of Requirements for the Quality of Products and Materials. Doct. Diss.]. Magnitogorsk, 2011. 310 p.
72. Ushakov S.N., Chukin M.V., Gun G.S., Korchunov A.G., Polyakova M.A. [High-Strength Reinforced Bars for Reinforced Concrete Sleepers of a New Generation]. *Put' i putevoe khozyaystvo*, 2012, no. 11, pp. 25–28. (in Russ.)
73. Chukin M.V., Gun G.S., Korchunov A.G., Polyakova M.A. [Prospects for High-Strength Steel Reinforcement Bars for Ferroconcrete Sleepers of a New Generation Based on Thermal and Deformational Nanostructuring]. *Chernaya Metallurgiya*, 2012, no. 4, pp. 100–105. (in Russ.)
74. Chukin M.V., Gun G.S., Korchunov A.G., Polyakova M.A. [Prospects for High-Strength Steel Reinforcement Bars for Ferroconcrete Sleepers of a New Generation Based on Thermal and Deformational Nanostructuring]. *Nedelya metallov v Moskve: Sbornik trudov konferentsii* [Week of Metals in Moscow: Proceedings of a Conference]. Moscow, VNIIMETMASH Publ., 2012, pp. 79–87. (in Russ.)
75. Chukin M., Gun G., Emaleeva D. [Manufacturing of High-Strength Nanostructured Reinforcement for Ferroconcrete Sleepers]. *XIII International Scientific Conference "New Technologies and Achievements in Metallurgy and Materials Engineering". Series Monographs, No. 24*. Dyja H., Kawalek A. (Eds.). Czestochowa, 2012, pp. 327–332. (in Russ.)
76. Chukin M.V., Gun G.S., Korchunov A.G., Polyakova M.A. [Prospects for Production of High-Strength Steel Reinforced Bars Made of High-Carbon Steels]. *Chernye Metally*, 2012, no. 12, pp. 8–15. (in Russ.)
77. Kolokol'tsev V.M., Chukin M.V., Gun G.S., Golubchik E.M., Kuznetsova A.S. [Organization of Low-Capacity Manufacturing of Nanostructured Workpieces from Multifunctional Alloys with Special Properties].

Trudy IX kongressa prokatchikov. Tom 1 [Papers of the 9th Congress of Rolling Mill Engineers. Vol. 1]. Cherepovets, 2013, pp. 248–251. (in Russ.)

78. Chukin M.V., Gun G.S., Korchunov A.G., Polyakova M.A., Koptseva N.V., Dolgiy D.K., Lysenin A.V. [Impact of Technological Modes on Mechanical Properties and Microstructure of High-Strength Reinforcement with a Diameter of 9.6 mm]. *XIV International Scientific Conference "New Technologies and Achievements in Metallurgy, Material Engineering and Production Engineering". Series Monographs, No. 31.* Dyja H., Kawalek A. (Eds.). Częstochowa, 2013, pp. 367–373. (in Russ.)

79. Chukin M.V., Gun G.S., Golubchik E.M., Kuznetsova A.S., Bukhvalov N.Yu., Pustovoyt K.S. [Implementation of a Project for Low-Capacity Manufacturing of Nanostructured Workpieces from Multifunctional Alloys with Special Properties]. *XIV International Scientific Conference "New Technologies and Achievements in Metallurgy, Material Engineering and Production Engineering". Series Monographs, No. 31.* Dyja H., Kawalek A. (Eds.). Częstochowa, 2013, pp. 374–378. (in Russ.)

80. Chukin M.V., Korchunov A.G., Gun G.S., Polyakova M.A., Koptseva N.V. Nanodimensional in High Carbon Steel Structural Part Formation by Thermal and Deformation Processing. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk St. Techn. Univ.*, 2013, no. 5 (45), pp. 33–35.

81. Chukin M.V., Polyakova M.A., Rubin G.Sh., Koptseva N.V., Gun G.S. [Outlook for Production of High-Strength Fasteners from Carbon Steel Billets with an Ultra-Fine Grain Structure]. *Kuznechno-shtampovnoye proizvodstvo. Obrabotka materialov davleniem*, 2014, no. 1, pp. 39–44. (in Russ.)

82. Chukin M.V., Golubchik E.M., Gun G.S., Koptseva N.V., Efimova Yu.Yu., Chukin D.M., Matushkin A.N. [The Study of Physical and Mechanical Properties and the Structure of High-Strength Multifunctional Invar Alloys of a New Generation]. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk St. Techn. Univ.*, 2014, no. 1 (45), pp. 43–48. (in Russ.)

83. Chukin M.V., Valiev R.Z., Raab G.I., Koptseva N.V., Efimova Yu.Yu. [The Study of Evolution of the 20 and 45 Nanosteel Structure at Critical Plastic Deformation Degrees]. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk St. Techn. Univ.*, 2007, no. 4 (20), pp. 89–93. (in Russ.)

84. Gun G.S., Chukin M.V., Emaleeva D.G., Koptseva N.V., Efimova Yu.Yu., Baryshnikov M.P. [The Study of Formation of the Submicrocrystalline Structure of a Steel Wire Surface Layer to Improve its Mechanical Properties]. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk St. Techn. Univ.*, 2007, no. 3 (19), pp. 84–96. (in Russ.)

85. Gun G.S., Chukin M.V., Emaleeva D.G., Koptseva N.V., Chukin V.V., Baryshnikov M.P. [Formation of the Submicrocrystalline Structure of a Steel Wire Surface Layer by Equal Channel Angular Drawing]. *Trudy 7-go kongressa prokatchikov. Tom 1* [Proceedings of the 7th Congress of Rolling Mill Engineers. Vol. 1]. Moscow, 2007, pp. 364–368. (in Russ.)

86. Chukin M.V., Koptseva N.V., Valiev R.Z., Yakovleva I.L., Zrnik G., Covarik T. [Diffraction Electron-Microscopic Analysis of the Carbon Structural Steel Submicrostructure and Nanostructure Construction After Equal Channel Angular Pressing and Subsequent Deformation]. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk St. Techn. Univ.*, 2008, no. 1 (21), pp. 31–37.

87. Efimova Yu.Yu., Koptseva N.V., Chukin V.V., Emaleeva D.G., Zubkova T.A., Nikitenko O.A. [Steel-Copper Bimetallic Wire Nanostructuring]. *Materialy 66-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii MG TU im. G.I. Nosova. Tom 1* [Proceedings of the 66th Scientific and Technical Conference of Nosov Magnitogorsk State Technical University. Vol. 1]. Magnitogorsk, Nosov MSTU Publ., 2008, pp. 49–52. (in Russ.)

88. Koptseva N.V., Efimova Yu.Yu., Baryshnikov M.P., Mikholenko D.A. [Impact of Temperature and Time of Heating on the Thermal Stability of Carbon Structural Steels with an Ultrafine Grained Structure Achieved by Equal Channel Angular Extrusion]. *Deformatsiya i razrushenie materialov*, 2011, no. 8, pp. 14–20. (in Russ.)

89. Efimova Yu.Yu., Koptseva N.V., Chukin V.V., Polyakova M.A., Baryshnikov M.P. [The Study of the Nanostructured Carbon Steel Bolt Structure and Properties]. *Obrabotka sploshnykh i sloistykh materialov. No. 38* [Solid and Laminated Materials Processing. No. 38]. Magnitogorsk, Nosov MSTU Publ., 2008, pp. 144–150. (in Russ.)

90. Koptseva N.V., Mikholenko D.A., Efimova Yu.Yu. [Evolution of the Microstructure and Properties During Heating the Ferrite-Pearlite Carbon Structural Steels with an Ultrafine Grained Structure Achieved by Intensive Plastic Deformation]. *Vestnik of Voronezh St. Techn. Univ.*, 2011, vol. 7, no. 9, pp. 85–91. (in Russ.)

91. Chukin M.V., Koptseva N.V., Baryshnikov M.P., Efimova Yu.Yu., Nosov A.D., Noskov E.P., Kolomiets B.A. [The Innovative Potential of New Nanostructured Steel Metalware Production Techniques]. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk St. Techn. Univ.*, 2009, no. 2 (26), pp. 64–68. (in Russ.)

92. Koptseva N.V., Polyakova M.A., Efimova Yu.Yu., Kuznetsova A.S., Mokhnatkin A.V. *Mikrostruktura i fiziko-mekhanicheskie svoystva ob"emnykh ul'tramelkozernistykh materialov* [The Microstructure and Physical and Mechanical Properties of Bulk Ultrafine Grained Materials]. Database registration certificate RF, no. 2010620405, 2010.

93. Koptseva N.V., Efimova Yu.Yu., Chukin M.V., Polyakova M.A. [Influence of Preliminary Heat Treatment on Structure and Properties of 20 and 45 Carbon Structural Steels Nano-Structurized Via the Method of Equal-Channel Angular Extrusion]. *Chernye Metally*, 2010, no. 7, pp. 14–19. (in Russ.)

94. Koptseva N.V., Efimova Yu.Yu., Baryshnikov M.P., Nikitenko O.A. [Formation of a Carbon Structural Steel Structure and Mechanical Properties During Nanostructuring by Equal Channel Angular Extrusion]. *Deformatsiya i razrushenie materialov*, 2011, no. 7, pp. 11–17. (in Russ.)

95. Chukin M.V., Koptseva N.V., Efimova Yu.Yu., Nikitenko O.A., Polyakova M.A. Criterion Estimation of Severe Plastic Deformation Efficiency from the Position of Their Influence on the Carbon Steel Structures Evolution. *CIS Iron and Steel Review*, 2010, pp. 28–31.

96. Chukin M.V., Koptseva N.V., Nikitenko O.A., Efimova Yu.Yu. [Mechanical Properties of Carbon Structural Ultrafine Grained Steel]. *Chernye Metally*, 2011, no. S6, pp. 54–59. (in Russ.)

97. Chukin M.V., Baryshnikov M.P., Belyaev A.O. [Method for Evaluation of the Proportionality Factor in Metal Forming Processes Based on Object Oriented Programming]. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk St. Techn. Univ.*, 2008, no. 4 (24), pp. 76–79. (in Russ.)

98. Chukin M.V., Baryshnikov M.P., Belyaev A.O. [Approach to the Estimation of the Friction Coefficient in Metal Forming Considering a Contact Zone as Noncompact Background]. *Izvestiya VUZ. Chernaya Metallurgiya*, 2010, no. 3, pp. 25–28. (in Russ.)

99. Baryshnikov M.P., Chukin M.V., Boyko A.B. [Analysis of Software Packages for Composite Materials Stress-Strain Evaluation During Forming]. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk St. Techn. Univ.*, 2012, no. 4 (40), pp. 72–74. (in Russ.)

100. Baryshnikov M.P., Chukin M.V., Gun G.S., Boyko A.B. [Wire Drawing Process Simulation Accounting for Structure Heterogeneity in SIMULIA ABAQUS]. *Plasticheskaya deformatsiya metallov* [Metal Plastic Deformation]. Dnepropetrovsk, 2014, pp. 156–158. (in Russ.)

Received 11 March 2015

БИБЛИОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ СТАТЬИ

Гун, Г.С. Развитие теории обработки металлов давлением (научный обзор). Часть 1 / Г.С. Гун // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2015. – Т. 15, № 2. – С. 34–48.

REFERENCE TO ARTICLE

Gun G.S. Development of the Theory of Metal Forming Processes (Scientific Review). Part 1. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*, 2015, vol. 15, no. 2, pp. 34–48. (in Russ.)