

Обработка металлов давлением. Технологии и машины обработки давлением

УДК 621.771

РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ (НАУЧНЫЙ ОБЗОР). ЧАСТЬ 2

Г.С. Гун

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

Отмечена роль известного металлурга В.Н. Выдрин в развитии теории и практики обработки металлов давлением, дан обзор научных достижений магнитогорских ученых в области теории качества и обработки материалов. В статье использованы оригинальные исследования, проведенные в Магнитогорском государственном техническом университете им. Г.И. Носова на протяжении 30 лет, посвященные оценке и управлению качеством продукции и технологии металлургического производства. В результате проведенных исследований внедрены инновационные технологии производства крепежных изделий, стальных фасонных профилей высокой точности, канатов, проволоки, высокопрочной арматуры на металлургических предприятиях России. Разработаны и внедрены методики оценки и управления качеством для конкретных видов изделий. Разработанная и развитая в трудах магнитогорских ученых теория прикладной квалиметрии, позволила прогнозировать и управлять качеством металлопродукции и технологическими процессами.

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

В основе наиболее распространенных программных пакетов по расчету процессов обработки металлов давлением (ОМД) лежит механика сплошных сред. Математическая модель процесса деформации металла, представленная системой двадцати девяти дифференциальных уравнений, была создана с использованием некоторых упрощений, что влечет за собой рост погрешности результата вычислений. Ввиду сложности аналитического решения системы двадцати девяти дифференциальных уравнений применяют численные методы, самым распространенным из которых является метод конечных элементов. Применение численных методов, в свою очередь, также способствует увеличению погрешности вычислений.

В 1928 г. появилась фундаментальная работа Р. Куранта, К. Фридрихса и Г. Леви, посвященная численному решению дифференциальных уравнений в частных производных [1]. Интерес авторов заключался в использовании конечно-разностных методов решения дифференциальных уравнений как инструмента математики. Дискретизируя дифференциальные уравнения, доказывая сходимости дискретной системы к дифференциальной и, наконец, устанавливая существование решения дискретной системы алгебраическими методами, они доказывали теоремы существования и единственности решений для эллиптических, гиперболических и параболических дифференциальных урав-

нений. В этой работе было также получено и объяснено знаменитое необходимое условие устойчивости Куранта–Фридрихса–Леви, которое в современной терминологии гласит, что число Куранта должно быть меньше единицы. Этот подход является частным случаем клеточных автоматов [2]. В плане точности модели динамики клеточные автоматы конкурентоспособны, по крайней мере, с точки зрения их вычислительной эффективности.

Клеточные автоматы являются дискретными динамическими системами, эволюция которых полностью определяется в рамках локальных зависимостей, что также свойственно большому классу непрерывных динамических систем, определенных уравнениями в частных производных. Клеточный автомат в каком-то смысле подобен физическому понятию «поля». Если представить клеточный автомат как своеобразный мир, где пространство расчерчено равномерной сеткой, каждая клетка (ячейка) которой характеризуется конечным количеством определенных параметров, время представлено последовательностью тактов, а законы мира представлены конечной таблицей переходов состояний для всех ячеек в зависимости от состояний соседних ячеек, то эта система достаточна для реализации сложных структур и явлений. Необходимо также отметить достоинство клеточных автоматов в общей парадигме параллельных вычислений [2].

Первой попыткой учёных МГТУ создать модель реальной среды была система подвижных клеточных автоматов [3]. Среда представляла собой конечное количество элементарных элементов, взаимодействующих друг с другом по некоторому закону. В список параметров, характеризующих каждый элемент, входили координаты центра масс, масса и компоненты скорости. Варьируя закон взаимодействия элементов, можно было изменять свойства среды. Но эта система имела ряд недостатков, в частности, потребность в гигантской вычислительной мощности ПК, поскольку приходилось рассчитывать взаимодействия каждого элемента с каждым, а также количество тактов было слишком велико.

Вторая модель представляет собой классический клеточный автомат. Плоскость разделена на элементарные квадратные ячейки, а время, в свою очередь, – на такты.

В построенной нами модели рассматривается абстрактное возмущение, распространяющееся от источника по заданной области. Это отражает наиболее общий подход к моделированию физических взаимодействий в среде.

Обобщающий подход открывает широкие перспективы для моделирования процессов ОМД. В этом случае возмущением может быть изменение положения материальной точки, скорость материальной точки, сила, напряжения, деформации. Клеточно-автоматная модель открывает широкие перспективы для разработки эффективных программ расчета НДС заготовки в процессе обработки давлением [2, 3].

В последние годы в МГТУ интенсивно развивается теория качества в рамках научной школы «Разработка и развитие теории квалиметрии и управления качеством продукции и производственных процессов» [4–17]. Рубиным Г.Ш. предложены основы функционально-целевого анализа [18–24]. Разработано понятие «функция объекта» (изделия, процесса), основанное на фундаментальных представлениях о взаимодействиях в физике. Определены три функции изделий, которые существенны для оценивания метизов: транспортная, монтажная и эксплуатационная. Обоснован и определен период существования объекта оценивания, в котором он выполняет потребительские функции. Этот период предложено назвать потребительской фазой. Разработан метод анализа структуры качества объекта, основанный на анализе функций, выполняемых при его потреблении. Исследователями МГТУ реализуется системный подход к комплексной оценке качества. Определён комплекс требований к операции свёртки, уточняющий известные ранее и опирающийся на положения логики относительных оценок. Введено понятие «акселерация оценок при свёртке», отражающее свойство эмерджентности в системах. Дано его математическое определение. Предложе-

ны функции свёртки, удовлетворяющие обоснованному в работе комплексу требований.

Мы считаем весьма продуктивным и разрабатываем процессный подход к оценке результативности технологического процесса. Разработаны понятия и методы локальной, глобальной и комплексной результативности многооперационного процесса производства, основанные на функциональном подходе к оценке технологического процесса, и методы их оценки, а также новые методы совершенствования технологических процессов с целью получения заданного качества метизов, повышения результативности технологического процесса.

Разработаны методы оценки требований к заготовке на основе нечёткого моделирования для получения требуемого качества метизов в заданном технологическом процессе и метод факторного анализа результативности технологического процесса, позволяющий оценивать потенциальные возможности операций для повышения результативности процесса.

Разработан функциональный метод анализа качества витых изделий, отличающийся наиболее полным учётом требований потребителя к кабелю. Определены понятия «функция изделия» и «свойство изделия». Методом функционального анализа разработана структура качества геофизического кабеля, отличающаяся сетевым строением. Анализ структуры свойств изделия позволил выявить новое потребительское свойство геофизического кабеля – «жесткость», определяемое количественным показателем «осевая жесткость».

Разработана номенклатура показателей, характеризующая эффективность процесса производства шаровых пальцев, включающая комплекс требований потребителя к качеству продукции и специальные требования к технологическому процессу. Разработана методика оценки технологической эффективности процессов производства шаровых пальцев, основанная на вычислении комплексной оценки с учётом свойства акселерации комплексной оценки.

Предложен комплексный показатель результативности технологического процесса производства высокопрочной арматуры железобетонных шпал (ЖБШ), формирующийся на основе глобального и локального показателей процесса и метод его анализа, позволивший определить технологические резервы для достижения заданного уровня потребительских свойств готовой продукции.

На основе разработанной методики нечёткого моделирования технологического процесса получены математические модели пооперационного изменения прочностных и пластических свойств заготовки для производства самонарезающих винтов на этапе подготовки металла к холодной объёмной штамповке [18–24].

Корчуновым А.Г. предложена методология разработки и применения математических моделей

с элементами нечеткой логики для управления показателями качества металлических изделий в процессах их формирования и технологической наследственности при разработке новых и совершенствовании действующих технологий метизного производства [25–30]. Формализована процедура описания параметров управления процессами обработки, параметров состояния и показателей качества металлических изделий нечеткими и лингвистическими переменными. Разработана последовательность структурной и параметрической идентификации математических моделей с элементами нечеткой логики управления показателями качества продукции [25–27]. Сформулированы принципы анализа неблагоприятных наследственных связей в процессах формирования качества продукции, предложены и разработаны технологические мероприятия, направленные на подавление их развития или устранение с учетом специфики взаимодействия методов обработки различной физической природы в технологиях метизного производства [28–30].

В рамках научной школы «Разработка и развитие теории квалиметрии и управления качеством продукции и производственных процессов» Э.М. Голубчиком предложены научно обоснованные подходы к адаптивному оперативному управлению качеством металлопродукции применительно к многовариантным технологическим системам [31–35]. Сформированы теоретические положения и построены различные модели и алгоритмы, реализующие методы оперативного технологического воздействия на показатели качества металлопродукции в процессе ее изготовления при возможной многовариантности технологической системы, обеспечивающие гарантированное достижение желаемого потребителем уровня качества. Такой подход позволяет предприятию-производителю наиболее эффективным образом использовать имеющиеся у него ресурсы для повышения своих конкурентных преимуществ, исключая затратные методы «проб и ошибок» при разработке технологий производства новых видов продукции. Учеными вуза в кооперации со специалистами-практиками проводятся комплексные исследования по применимости данной методологии при освоении инновационной металлопродукции, обладающей глубокой степенью переработки в условиях таких предприятий как ОАО «ММК», ОАО «Мотовилихинские заводы» (г. Пермь).

Повышение качества продукции является важным фактором, определяющим конкурентоспособность продукции. Это обеспечивается путем выстраивания надежных отношений между потребителями и производителями. Особую актуальность приобретают проблемы повышения качества продукции на современном этапе интеграции российской экономики в мировое экономическое пространство. Это требует решения ряда задач, среди

которых совершенствование системы стандартизации на всех уровнях производственных отношений. К настоящему времени накоплен багаж знаний, разработаны принципы и методы стандартизации, нормативная база стандартизации насчитывает сотни нормативных документов. Однако следует отметить отсутствие научных основ стандартизации; зачастую нормы, регламентируемые в стандартах, не соответствуют современному уровню развития техники и технологий; разработка, принятие и утверждение стандартов занимает довольно длительный промежуток времени; практически не действует заявляемый принцип опережающей стандартизации. Все это сдерживает быстрое внедрение современных достижений науки в действующее производство [36].

О качестве металлопродукции судят, прежде всего, по степени соответствия показателей качества требованиям нормативно-технической документации (НТД). Система обязательных требований в металлургии представлена более чем 20 000 нормативных документов, в основном советского периода. Она неудобна для применения, часто имеет рамочный характер, содержит завышенные, дублирующие и избыточные требования, не гармонизирована с мировой практикой. Общероссийский каталог стандартов Ростехрегулирования содержит перечень 1855 государственных стандартов по разделу 77 «Металлургия». Многие ГОСТы устарели и не отвечают новым требованиям и принципам стандартизации; не отражают в полной мере рыночных отношений. Кроме того, действующие в настоящее время отраслевые стандарты в большинстве характеризуются несистематизированностью, значительной долей устаревших требований, отсутствием программы развития.

Стандартизация характеризуется тем, что имеет объект, в качестве которого выступают предметы, явления, процессы, повторяющиеся в виде различных вариантов, причем выбранный из этого множества вариант должен быть оптимальным. Поиск оптимального варианта должен производиться на научной основе с использованием математической статистики, теории вероятностей, комбинаторной математики и т. д. Стандартизация предполагает определенный набор действий: выбор или разработку оптимальных решений, их узаконивание и оформление по установленному порядку, их практическое применение в практике по строго регламентированным правилам, т. е. стандартизацию можно рассматривать как систему приемов трудовой деятельности, как метод работы.

Основными задачами стандартизации в области металлургического производства в настоящее время являются: упорядочение (систематизация) информации в НТД; унификация количества НТД на определенный вид продукции; разработка методических основ с учетом внедрения инноваций и модернизации металлургического производ-

ства, т. е. стандартизация должна быть действительно опережающей.

В МГТУ усилиями ученых Г.Ш. Рубина, М.А. Поляковой, М.В. Чукина и др. [36, 37] складывается новая наука о приёмах и методах разработки стандартов на промышленную продукцию. Для обозначения этой науки предложено использовать греческое слово *дротило* – стандарт. Следуя традициям словообразования русского языка – соединять названия предмета изучения с окончания «-логия», соответствующую науку о стандартизации называем «Протипология». Предметом данной науки является разработка методов согласования требований потребителя и возможностей изготовителя продукции. Этапами разработки стандартов являются:

1) разработка требований потребителя, как набора свойств и характеризующих их измеряемых показателей;

2) установление соответствия между потребительскими свойствами и свойствами изделия, контролируемые изготовителем продукции;

3) максимальное сближение позиций изготовителя и потребителя и разработка стандарта как оптимального компромисса позиций сторон.

Наши научно-практические разработки последних лет доказывают перспективность и возможность внедрения нанотехнологий в действующие технологические процессы производства металлоизделий различного назначения. Результатом практической реализации фундаментальных исследований в области формирования наноструктуры в углеродистых сталях при различных видах интенсивной пластической деформации (ИПД) стали разработанные технологические процессы получения различных видов метизной продукции. Использование углеродистой стали с ультрамелкозернистой (УМЗ) структурой для производства различных видов металлоизделий (проволока, машиностроительный крепеж, высокопрочная арматура для ЖБШ и др.) позволяет не только получить характерный для данного структурного состояния комплекс прочностных и пластических свойств, но также в значительной степени расширяет области применения, приводит к экономии материальных и энергетических ресурсов.

Одним из примеров последовательной реализации предлагаемых этапов разработки стандартов, связанного с отсутствием нормативной базы для производства металлоизделий из сталей с УМЗ структурой, является разработанная нами технология производства высокопрочных болтов М16 из углеродистых сталей 20 и 45 после равноканального углового прессования (РКУП) методом холодной высадки. Результаты испытаний показали, что использование УМЗ сталей может существенно повысить класс прочности болтов, что достаточно сложно обеспечить для данных марок стали традиционными методами обработки. Это объяс-

няется деформационным измельчением структуры материала болтов и формированием в нем УМЗ структуры по всему сечению изделия. Согласно общей методологии протипологии в настоящее время реализованы первые два этапа разработки стандарта. В ходе первого этапа проведен анализ требований потребителей в получении высокопрочного крепежа с высокими значениями механических свойств. При этом немаловажную роль играет возможность замены легированных марок стали на углеродистые при сохранении требуемого уровня механических свойств. На втором этапе проведен комплекс теоретико-экспериментальных работ по установлению такой возможности. В настоящее время остро стоит необходимость разработки стандарта, либо разработки изменений в действующие нормативные документы, открывающие перспективы производства данного вида метизной продукции из углеродистых сталей с УМЗ структурой [36–46].

В 2010–2012 гг. специалистами ОАО «Магнитогорский метизно-калибровочный завод «ММК-МЕТИЗ» и учеными МГТУ реализован совместный проект по созданию высокотехнологичного производства высокопрочной арматуры диаметром 9,6 мм для ЖБШ высокоскоростных и тяжелонагруженных магистралей, поддержанный Министерством образования Российской Федерации. Реализация проекта была направлена на достижение значимой научной цели, заключающейся в формировании наноструктурированного состояния высокоуглеродистых сталей в объемных длинномерных изделиях [36–43, 45, 46]. При реализации технологии первый этап разработки нормативной документации на этот вид металлопродукции реализован в виде требований ОАО «РЖД» как основного потребителя. На втором этапе учеными МГТУ и специалистами ОАО «ММК-МЕТИЗ» был проведен колоссальный объем экспериментальных исследований по установлению влияния режимов каждой операций технологического процесса на конечные потребительские свойства арматуры. В результате проведенных работ в действующие в ОАО «ММК-МЕТИЗ» технические условия ТУ 0930-011-01115863-2008 были внесены изменения в части расширения класса арматуры 1450К, а также нового вида исполнения: прутки со свободной длиной без резьбы на концах.

Несмотря на то, что по своим эксплуатационным характеристикам металлоизделия, получаемые из углеродистых сталей с УМЗ структурой, не уступают, а порой превосходят свои крупнозернистые аналоги, промышленное внедрение данных технологических процессов сдерживается отсутствием НТД. Основываясь на предлагаемом подходе, основным направлением развития стандартизации на современном этапе является использование основных положений протипологии для разработки стандартов, прежде всего отраслевого значения. Это

будет являться базой не только для скорейшего внедрения, например, нанотехнологий в действующее промышленное производство, но станет значительным шагом вперед на пути адаптации требований отечественных стандартов мировым аналогам.

Кафедра машиностроительных и металлургических технологий МГТУ является практически единственной в России, выпускающей метизников, тесно сотрудничает с предприятиями этой отрасли в сфере научной деятельности. В настоящее время ведущим ученым – метизником, профессором кафедры Харитоновым В.А. проводится комплекс исследований, направленных на повышение конкурентоспособности проволоки и канатов. Под его руководством защищено 12 кандидатских диссертаций, посвященных решению актуальных проблем метизной подотрасли страны [47–53]. Харитоновым В.А. предложен пакет методик проектирования: калибровок валков станов сортовой холодной прокатки и роликовых волок; ресурсосберегающих технологических процессов изготовления проволоки различного назначения; параметров периодического профиля холоднодеформированной проволоки из низко- и высокоуглеродистых сталей и инструмента для его нанесения; маршрутов волочения проволоки и выбора параметров волочильного инструмента на основе оценки геометрической скоростной и контактной неравномерности деформации.

Разработана теория калибрующего пластического обжатия прядей и канатов гладких и периодического профиля в роликовых волоках и модель расчета параметров структурообразования при волочении проволоки в роликовых волоках радиально-сдвиговой деформации.

Разработаны, прошли опытное промышленное опробование, внедрены в производство на промышленных предприятиях (ОАО «БМК», ОАО «ММК-МЕТИЗ», ЗАО «Уралкорд» и др.) новые технологии производства проволоки круглой перелесной из высоколегированных и легких сплавов; проволоки фасонного и периодического профиля; из легированных, низко- и высокоуглеродистых сталей, проволоки высокоуглеродистой подметаллокорд. Работы проводились совместно с ведущими научно-исследовательскими институтами: ВНИИМетиз (г. Магнитогорск), ВИЛС (г. Москва), НИИЖБ (г. Москва), ВНИИЖелезобетон (г. Москва) и др. [47–51, 54–58].

Таким образом, при анализе результатов научной деятельности кафедры металлургических и машиностроительных технологий МГТУ им. Г.И. Носова за 45 лет нельзя не заметить влияние научных идей В.Н. Выдрина на работы магнитогорских ученых.

Литература

1. R. Courant, K. Friedrichs, H. Lewy. *Über die partiellen Differenzgleichungen der mathemati-*

schen Physik // Mathematische Annalen. – 1928. – Bd. 100, Nr. 1. – S. 32–74.

2. Тоффоли, Т. *Машины клеточных автоматов: пер. с англ. / Т. Тоффоли, Н. Марголюс. – М.: Мир, 1991. – 280 с.*

3. Рубин, Г.Ш. *Клеточно-автоматные модели деформируемой среды / Г.Ш. Рубин, А.А. Шишов // Труды восьмого конгресса прокатчиков. – Магнитогорск, 2010. – С. 451–453.*

4. *Методологический подход к управлению качеством метизной продукции, основанный на нечетких множествах / Г.Ш. Рубин, Ф.Т. Вахитова, В.Н. Лебедев и др. // Вестн. Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова. – 2009. – № 4 (28). – С. 50–53.*

5. *Управление качеством продукции в технологиях метизного производства: моногр. / А.Г. Корчунов, М.В. Чукин, Г.С. Гун, М.А. Полякова. – М.: Издат. дом «Руда и металлы», 2012. – 164 с.*

6. *Разработка теории квалиметрии метизного производства / Г.Ш. Рубин, М.В. Чукин, Г.С. Гун и др. // Черные металлы. – 2012. – № 7. – С. 15–21*

7. *Prototyping: a New Stage in the Standardization of Metal Products / G.Sh. Rubin, M.A. Polyakova, M.V. Chukin, G.S. Gun // Steel in Translation. – 2013. – Vol. 43, no. 10. – P. 666–669.*

8. *Разработка теории квалиметрии производства металлоизделий / Г.С. Гун, М.В. Чукин, И.Г. Гун и др. // Труды IX конгресса прокатчиков. Череповец, 16–18 апреля 2013. – Череповец, 2013. – Т. 1. – С. 237–244.*

9. Рубин, Г.Ш. *Квалиметрия в металлургии / Г.Ш. Рубин, Г.С. Гун, М.В. Чукин, А.Г. Корчунов // Качество в производственных и социально-экономических системах: материалы Междунар. науч.-техн. конф. Курск, 2013. С. 185–189.*

10. *Разработка теории квалиметрии в металлургической отрасли / G.Sh. Rubin, G.S. Gun, M.V. Chukin et al. // 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. 51–55.*

11. *Metallurgy qualimetry theory design and development / G.S. Gun, G.Sh. Rubin, M.V. Chukin et al. // Вестн. Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова. – 2013. – № 5 (45). – С. 67–69.*

12. Гун, Г.С. *Управление качеством в метизном производстве / Г.С. Гун, М.В. Чукин, Г.Ш. Рубин // Металлургические процессы и оборудование. – Донецк (Украина): ООО «Технопарк Дон ГТУ «УНИТЕКС». – 2013. – № 4 (34). – С. 106–112.*

13. *Разработка и развитие теории квалиметрии металлургии / Г.С. Гун, Г.Ш. Рубин, М.В. Чукин и др. // Материалы 10-й Междунар. науч.-техн. конф. «Современные металлические материалы и технологии (СММТ'13)» (25–29 июня 2013 г. Санкт-Петербург). – СПб., 2013.*

14. Научно-педагогическая школа Магнитогорского государственного технического университета по управлению качеством продукции и производственных процессов / Г.С. Гун, И.Ю. Мезин, А.Г. Корчунов и др. // *Качество в обработке материалов*. – 2014. – № 1. – С. 5–8.
15. Генезис научных исследований в области качества металлопродукции / Г.С. Гун, И.Ю. Мезин, Г.Ш. Рубин и др. // *Вестн. Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова*. – 2014. – № 1 (45). – С. 92–97.
16. Концептуальная модель ситуационного центра промышленного предприятия / М.Б. Гитман, К.С. Пустовойт, В.Ю. Столбов и др. // *Вестн. Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова*. – 2014. – № 1 (45). – С. 102–107.
17. Актуальные проблемы квалиметрии метизного производства в период зарождения шестого технологического уклада / Г.С. Гун, М.В. Чукин, Г.Ш. Рубин и др. // *Металлург*. – 2014. – № 4. – С. 92–95.
18. Рубин, Г.Ш. *Квалиметрия метизного производства: моногр.* / Г.Ш. Рубин. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. – 167 с.
19. Рубин, Г.Ш. *Расчет и анализ использования производственных мощностей метизной промышленности: моногр.* / Г.Ш. Рубин, З.А. Герасимова, Д.И. Вайсман. – М.: *Металлургия*, 1985. – 48 с.
20. Комплексная оценка эффективности процессов производства шаровых пальцев: моногр. / И.Г. Гун, Г.Ш. Рубин, В.В. Сальников и др. – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2008. – 133 с.
21. Об оценках пластического формоизменения / Г.С. Гун, А.И. Крылов, Г.Ш. Рубин и др. // *Известия АН СССР. Металлы*. – 1976. – № 6. – С. 109–112.
22. Сравнение различных способов обработки металлов давлением по эффективности формоизменения / Г.Ш. Рубин, Г.С. Гун, Ю.П. Богатырев и др. // *Изв. вузов. Черная металлургия*. – 1980. – № 5. – С. 52–54.
23. Выбор эффективной технологии получения профилей повышенной точности для машиностроения / Г.Ш. Рубин, Г.С. Гун, Е.А. Пудов и др. // *Изв. вузов. Машиностроение*. – 1981. – № 5. – С. 155–157.
24. Исследование процесса высадки двухфланцевых шипов противоскольжения с использованием компьютерного моделирования / В.В. Андреев, Г.С. Гун, Г.Ш. Рубин, А.Г. Ульянов // *Вестн. Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова*. – 2008. – № 1 (21). – С. 45–49.
25. Корчунов, А.Г. *Управление качеством метизной продукции на основе нечетких моделей описания технологической наследственности* / А.Г. Корчунов // *Металлург*. – 2009. – № 5. – С. 50–53.
26. Korchunov, A. *Methodology of developing mathematical models with fuzzy logic elements for quality indices control* / A. Korchunov, M. Chukin, A. Lysenin // *Applied Mechanics and Materials*. – 2013. – Vol. 436. – P. 374–381.
27. Корчунов, А.Г. *Управление качеством метизной продукции в условиях неопределенности технологической информации* / А.Г. Корчунов, А.В. Лысенин // *Вестн. Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова*. – 2012. – № 3 (39). – С. 43–45.
28. Корчунов, А.Г. *К вопросу обеспечения качества продукции в технологиях метизного производства* / А.Г. Корчунов // *Металлург*. – 2008. – № 10. – С. 67–72.
29. Корчунов, А.Г. *Совершенствование методики управления качеством продукции в технологических процессах метизного производства* / А.Г. Корчунов // *Производство проката*. – 2008. – № 12. – С. 8–13.
30. Корчунов, А.Г. *Методология управления показателями качества продукции в технологиях метизного производства на основе моделей с элементами нечеткой логики: дис. ... д-ра техн. наук: 05.02.23 / А.Г. Корчунов*. – Магнитогорск, 2010. – 320 с.
31. Голубчик, Э.М. *Адаптивное управление качеством металлопродукции* / Э.М. Голубчик // *Вестн. Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова*. – 2014. – № 1 (45). – С. 63–69.
32. Голубчик, Э.М. *Применение принципов технологической адаптации при управлении показателями качества в многовариантной технологической системе изготовления холоднокатаной ленты* / Э.М. Голубчик, В.Е. Телегин, Г.Ш. Рубин // *Качество в обработке материалов*. – 2014. – № 1. – С. 34–41.
33. *Применение адапционных механизмов для повышения качества продукции с глубокой степенью переработки* / Э.М. Голубчик, А.Г. Корчунов, К.Г. Пивоварова, А.В. Лысенин // *Вестн. Воронеж. гос. техн. ун-та*. – 2011. – № 5. – С. 131–134.
34. Голубчик, Э.М. *Адаптивные подходы к управлению качеством продукции в многовариантных технологических системах* / Э.М. Голубчик // *Методы менеджмента качества*. – 2013. – № 7. – С. 36–41.
35. *Производство многофункциональных сплавов инварного класса с повышенными эксплуатационными свойствами* / В.М. Колокольцев, М.В. Чукин, Э.М. Голубчик и др. // *Металлургические процессы и оборудование*. – 2013. – № 3 (33). – С. 47–52.
36. Рубин, Г.Ш. *Развитие научных основ стандартизации* / Г.Ш. Рубин, М.А. Полякова // *Вестн. Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова*. – 2014. – № 1 (45). – С. 97–102.
37. Полякова, М.А. *Современное направление стандартизации как науки* / М.А. Полякова, Г.Ш. Рубин // *Черные металлы*. – 2014. – № 6. – С. 32–37.
38. *Производство высокопрочной стальной арматуры для железобетонных шпал нового по-*

- коления / М.В. Чукин, А.Г. Корчунов, В.А. Бакишинов и др.; под общ. ред. М.В. Чукина. – М.: Металлургия, 2014. – 276 с.
39. 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.
40. 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.
41. 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 // Неделя металлов в Москве: сб. тр. конф. 15–18 ноября 2011. – М.: ВНИИМЕТМАШ, 2012. – С. 79–87.
42. 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.
43. Перспективы производства высокопрочной стальной арматуры из высокоуглеродистых марок стали / М.В. Чукин, Г.С. Гун, А.Г. Корчунов, М.А. Полякова // Черные металлы. – 2012. – № 12. – С. 8–15.
44. 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.
45. Nanodimensional in high carbon steel structural part formation by thermal and deformation processing / M.V. Chukin, A.G. Korchunov, G.S. Gun et al. // Вестн. Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова. – 2013. – № 5 (45). – С. 33–35.
46. 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.
47. 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.
48. Зюлин, В.Д. Устойчивость высокой полосы при прокатке в гладких валках. Сообщение 1 / В.Д. Зюлин, В.А. Харитонов // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1981. – № 6. – С. 60–63.
49. Зюлин, В.Д. Устойчивость высокой полосы при прокатке в гладких валках. Сообщение 2 / В.Д. Зюлин, В.А. Харитонов // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1982. – № 2. – С. 32–35.
50. Харитонов, В.А. Развитие теории и технологии прокатки в четырехвалковых калибрах проволоки различного назначения / В.А. Харитонов // Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением: межрегион. сб. науч. тр. – Магнитогорск, 2002. – С. 273–277.
51. Харитонов, В.А. Повышение эффективности технологического процесса изготовления низкоуглеродистой арматурной проволоки / В.А. Харитонов, А.Г. Корчунов, М.В. Зайцева // Производство проката. – 2005. – № 8. – С. 21–25.
52. Колокольцев, В.М. Подготовка квалифицированных кадров в условиях университетского комплекса / В.М. Колокольцев, Е.М. Разинкина, А.Ю. Глухова // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2010. – Т. 12, № 1–2. – С. 615–618.
53. Колокольцев, В.М. Пять лет от аттестации до аттестации / В.М. Колокольцев // Вестн. Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова. – 2008. – № 1. – С. 5–11.
54. Колокольцев, В.М. Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. История. Развитие / В.М. Колокольцев // Вестн. Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова. – 2014. – № 1 (45). – С. 5–6.
55. Научная деятельность ГОУ ВПО «МГТУ» в условиях развития нанотехнологий / М.В. Чукин, В.М. Колокольцев, Г.С. Гун и др. // Вестн. Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова. – 2009. – № 2. – С. 55–59.
56. Колокольцев, В.М. Повышение эксплуатационных свойств отливок из жаропрочных хромомарганцевых чугунов / В.М. Колокольцев, А.С. Гольцов, М.Ф. Брялин // Вестн. Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова. – 2007. – № 4 (20). – С. 22–25.
57. Гун, Г.С. Инновационные решения в обработке металлов давлением (научный обзор) / Г.С. Гун // Качество в обработке материалов. – 2014. – № 2. – С. 5–26.
58. Гун, Г.С. Инновационные методы и решения в процессах обработки материалов / Г.С. Гун // Вестн. Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова. – 2014. – № 4 (48). – С. 99–113.

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

Поступила в редакцию 7 мая 2015 г.

DEVELOPMENT OF THE THEORY OF METAL FORMING PROCESSES (SCIENTIFIC REVIEW). PART 2

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

The article describes the role of the well known metallurgist V.N. Vydrin in the development of the theory and practice of metal forming processes. A review of achievements of scientists from Magnitogorsk in the theory of quality and materials processing is given. Original investigations in the area of metallurgical manufacturing and production quality management and estimation carried out for 30 years in Nosov Magnitogorsk State Technical University are adduced. As a result of these investigations innovative technologies for fasteners, steel shaped sections with high accuracy, ropes and cables, wire, high strength reinforcement production are implemented in metal ware industrial enterprises of Russia. Methods of quality management and estimation for specific types of metal products are developed and implemented. Theory of applied qualimetry worked out and developed in Magnitogorsk scientists' works is able to predict and manage technological processes and metal ware quality.

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

References

1. Courant R., Friederichs K., Lewy H. Über die partiellen Differenzengleichungen der mathematischen Physik. *Mathematische Annalen*, 1928, vol. 100, no. 1, pp. 32–74. DOI: 10.1007/BF01448839
2. Toffoli T., Margolus N. *Cellular Automata Machines*. MIT Press, 1987. 200 p.
3. Rubin G.Sh., Shishov A.A. [Cellular Automaton Models of Deformed Media]. *Trudy vos'mogo kongressa prokatchikov* [Proceedings of the Eighth Congress of Rolling Mill Engineers]. Magnitogorsk, 2010, pp. 451–453. (in Russ.)
4. Rubin G.Sh., Vakhitova F.T., Lebedev V.N., Guseva E.N., Shishov A.A. [A Methodological Approach to Metalware Manufacturing Quality Management Based on Fuzzy Sets]. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*. 2009, no. 4 (28), pp. 50–53. (in Russ.)
5. Korchunov A.G., Chukin M.V., Gun G.S., Polyakova M.A. *Upravlenie Kachestvom Produktii v Tekhnologiyakh Metiznogo Proizvodstva* [Quality Management in Metalware Production Technologies]. Moscow, Ruda i Metally Publ., 2012. 164 p.
6. Rubin G.Sh., Chukin M.V., Gun G.S., Zakirov D.M., Gun I.G. [Development of a Qualimetry Theory for Metalware]. *Chernye Metally*, 2012, no. 7, pp. 15–21. (in Russ.)
7. Rubin G.Sh., Polyakova M.A., Chukin M.V., Gun G.S. Prototyping: A New Stage in the Standardization of Metal Products. *Steel in Translation*, 2013, vol. 43, no. 10, pp. 666–669. DOI: 10.3103/S0967091213100094
8. Gun G.S., Chukin M.V., Gun I.G., Korchunov A.G., Mezin I.Yu., Rubin G.Sh., Zakirov D.M. [Development of a Metalware Manufacturing Qualimetry Theory]. *Trudy IX kongressa prokatchikov* [Proceedings of the IX Congress of Rolling Mill Engineers]. Vol. 1. Cherepovets, 2013, pp. 237–244. (in Russ.)
9. Rubin G.Sh., Gun G.S., Chukin M.V., Korchunov A.G. [Qualimetry in Metallurgy]. *Kachestvo v proizvodstvennykh i sotsial'no-ekonomicheskikh sistemakh: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Quality in Industrial and Social and Economic Systems: Papers of the International Scientific and Technical Conference]. Kursk, 2013, pp. 185–189. (in Russ.)
10. Rubin G.Sh., Gun G.S., Chukin M.V., Gun I.G., Korchunov A.G. [Creation of Qualimetry Theory in Metallurgy]. *XIV International Scientific Conference "New Technologies and Achievements in Metallurgy and Materials Engineering"*. Series Monographs, No. 31. Dyja H., Kawalek A. (Eds.). Częstochowa, 2013, pp. 51–55. (in Russ.)
11. Gun G.S., Rubin G.Sh., Chukin M.V., Gun I.G., Mezin I.Yu., Korchunov A.G. Metallurgy Qualimetry Theory Design and Development. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*, 2013, no. 5 (45), pp. 67–69.

12. Gun G.S., Chukin M.V., Rubin G.Sh. [Quality Management in Metalware Production]. *Metallurgicheskie protsessy i oborudovanie*, 2013, no. 4 (34), pp. 106–112. (in Russ.)
13. Gun G.S., Rubin G.Sh., Chukin M.V., Mezin I.Yu., Korchunov A.G., Gun I.G. [Creation and Development of a Qualimetry Theory in Metallurgy]. *Materialy 10-y Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii "Sovremennye metallicheskie materialy i tekhnologii (SMMT'13)"* [Papers of the 10th International Scientific and Technical Conference "Modern Metal Materials and Technologies"]. St. Petersburg, 2013. (in Russ.)
14. Gun G.S., Mezin I.Yu., Korchunov A.G., Chukin M.V., Gun I.G., Rubin G.Sh. [Educational Research School of Nosov Magnitogorsk State Technical University in Product and Industrial Process Quality Management]. *Kachestvo v obrabotke materialov*, 2014, no. 1, pp. 5–8. (in Russ.)
15. Gun G.S., Mezin I.Yu., Rubin G.Sh., Minaev A.A., Naizabekov A.B., Dyja H. [The Research Genesis in the Field of the Steel Products Quality]. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*, 2014, no. 1 (45), pp. 92–97. (in Russ.)
16. Gitman M.B., Pustovoit K.S., Stolbov V.Yu., Fedoseev S.A., Gun G.S. [A Conceptual Model of a Situational Center of an Industrial Enterprise]. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*, 2014, no. 1 (45), pp. 102–107. (in Russ.)
17. Gun G.S., Chukin M.V., Rubin G.Sh., Mezin I.Yu., Korchunov A.G. [Modern Problems of Metalware Production Qualimetry During the Sixth Technology Revolution]. *Metallurg*, 2014, no. 4, pp. 92–95. (in Russ.)
18. Rubin G.Sh. *Kvalimetriya metiznogo proizvodstva* [Metalware Production Qualimetry]. Magnitogorsk, MGTU Publ., 2012. 167 p.
19. Rubin G.Sh., Gerasimova Z.A., Vaysman D.I. *Raschet i analiz ispolzovaniya proizvodstvennykh moshchnostey metiznoy promyshlennosti* [Evaluation and Analysis of Use of Metalware Facilities]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1985. 48 p.
20. Gun I.G., Rubin G.Sh., Sal'nikov V.V. et al. *Kompleksnaya Otsenka Effektivnosti Protsessov Proizvodstva Sharovykh Pal'tsev* [A Complex Evaluation of the Efficiency of a Ball-And-Socket Joint Manufacturing Process]. Magnitogorsk, MGTU Publ., 2008. 133 p.
21. Gun G.S., Krylov A.I., Rubin G.Sh. et al. [On Plastic Forming Estimation]. *Izvestiya AN SSSR. Metally*, 1976, no. 6, pp. 109–112. (in Russ.)
22. Rubin G.Sh., Gun G.S., Bogatyrev Yu.P. et al. [Comparison of Different Metal Forming Processes in Terms of Forming Performance]. *Izvestiya VUZ. Chernaya Metallurgiya*, 1980, no. 5, pp. 52–54. (in Russ.)
23. Rubin G.Sh., Gun G.S., Pudov E.A. et al. [Selection of the Efficient Technology for Profiles of Extended Precision for Machine Building]. *Izvestiya VUZ. Mashinostroenie*, 1981, no. 5, pp. 155–157. (in Russ.)
24. Andreev V.V., Gun G.S., Rubin G.Sh., Ul'yanov A.G. [Study of a Double-Flange Antiskid Tongue Discharging Process Using Computer Simulation]. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*, 2008, no. 1 (21), pp. 45–49. (in Russ.)
25. Korchunov A.G. Quality Control of Hardware Products Based on the Use of Fuzzy Models to Describe Technological Inheritance. *Metallurgist*, 2009, vol. 53, no. 5–6, pp. 290–295. DOI: 10.1007/s11015-009-9176-6
26. Korchunov A., Chukin M., Lysenin A. Methodology of Developing Mathematical Models with Fuzzy Logic Elements for Quality Indices Control. *Applied Mechanics and Materials*, 2013, vol. 436, pp. 374–381. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.436.374
27. Korchunov A.G., Lysenin A.V. Metalware Quality Management in Conditions of Fuzzy Technological Information. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*, 2012, no. 3 (39), pp. 43–45. (in Russ.)
28. Korchunov A.G. Ensuring Product Quality in Hardware-Manufacturing Technologies. *Metallurgist*, 2008, vol. 52, no. 9–10, pp. 574–581. DOI: 10.1007/s11015-009-9095-6
29. Korchunov A.G. [Improvement of a Quality Management Technique in Metalware Production Processes]. *Proizvodstvo prokata*, 2008, no. 12, pp. 8–13. (in Russ.)
30. Korchunov A.G. *Metodologiya upravleniya pokazatelyami kachestva produktsii v tekhnologiyakh metiznogo proizvodstva na osnove modeley s elementami nechetkoy logiki*. Dokt. diss. [Methodology of Products Quality Management in Metalware Technologies Based on Models with Fuzzy Logic Elements. Doct. Diss.]. Magnitogorsk, 2010. 320 p.
31. Golubchik E.M. [Adaptive Control of Metal Products Quality]. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*, 2014, no. 1 (45), pp. 63–69. (in Russ.)
32. Golubchik E.M., Telegin V.E., Rubin G.Sh. [Application of Technological Adaptation Principles for the Quality Index Control in a Multivariant Technological System of Cold Rolled Narrow Strips]. *Kachestvo v obrabotke materialov*, 2014, no. 1, pp. 34–41. (in Russ.)
33. Golubchik E.M., Korchunov A.G., Pivovarova K.G., Lysenin A.V. [Application of Adaptation Mechanisms for Improving the Quality of Products of Downstream Processing]. *The Bulletin of Voronezh State Technical University*, 2011, no. 5, pp. 131–134. (in Russ.)
34. Golubchik E.M. [Adaptive Approaches to Products Quality Management in Multivariant Technological Systems]. *Metody menedzhmenta kachestva*, 2013, no. 7, pp. 36–41. (in Russ.)

35. Kolokol'tsev V.M., Chukin M.V., Golubchik E.M., Rodionov Yu.L., Bukhvalov N.Yu. [Production of Multifunctional Alloys of Invar Class with Increased Operating Properties]. *Metallurgicheskie protsessy i obrabotkanie*, 2013, no. 3, pp. 47–52. (in Russ.)
36. Rubin G.Sh., Polyakova M.A. [Development of Standardization Scientific Fundamentals]. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*, 2014, no. 1 (45), pp. 97–102. (in Russ.)
37. Polyakova M.A., Rubin G.Sh. [Modern Tendency of Standardization As Science]. *Chernye metally*, 2014, no. 6, pp. 32–37. (in Russ.)
38. 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 stalnoy armatury dlya zhelezobetonnykh shpal novogo pokoleniya* [Production of the High-Tensile Steel Reinforcement for Ferroconcrete Sleepers of a New Generation]. Chukin M.V. (Ed.). Moscow, Metallurgizdat Publ., 2014. 276 p.
39. 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.)
40. 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.)
41. 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* [The Week of Metals in Moscow. Collection of Conference Papers]. Moscow, VNIIMETMASH Publ., 2012, pp. 79–87. (in Russ.)
42. 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.)
43. 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.)
44. 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 a Microstructure of High-Strength Reinforcement with a Diameter of 9.6 mm]. *IX International Scientific Conference "New Technologies and Achievements in Metallurgy and Materials Engineering". Series Monographs, No 31*. Dyja H., Kawalek A. (Eds.). Czestochowa, 2013, pp. 367–373. (in Russ.)
45. 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 State Technical University*, 2013, no. 5 (45), pp. 33–35.
46. 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-shtampovochnoe proizvodstvo. Obrabotka materialov davleniem*, 2014, no. 1, pp. 39–44. (in Russ.)
47. 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.)
48. Zyulin V.D., Kharitonov V.A. [Stability of High Sheets During Rolling in Plain Rolls. Report 1]. *Izvestiya VUZ. Chernaya Metallurgiya*, 1981, no. 6, pp. 60–63. (in Russ.)
49. Zyulin V.D., Kharitonov V.A. [Stability of High Sheets During Rolling in Plain Rolls. Report 2]. *Izvestiya VUZ. Chernaya Metallurgiya*, 1982, no. 2, pp. 32–35. (in Russ.)
50. Kharitonov V.A. [Development of a Theory and Technology of Wire Rolling in Four-Roll Passes for Different Applications]. *Modelirovanie i Razvitie Protessov Obrabotki Metallov Davleniem* [Simulation and Improvement of Metal Forming Processes]. Magnitogorsk, 2002, pp. 273–277. (in Russ.)
51. Kharitonov V.A., Korchunov A.G., Zaytseva M.V. [Increasing the Efficiency of a Low Carbon Reinforcement Wire Technological Process]. *Proizvodstvo prokata*, 2005, no. 8, pp. 21–25. (in Russ.)
52. Kolokol'tsev V.M., Razinkina E.M., Glukhova A.Yu. [Training of Skilled Specialists Within the University Complex]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN*, 2010, vol. 12, no. 1–2, pp. 615–618. (in Russ.)
53. Kolokol'tsev V.M. [Five Years from Certification to Certification]. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*, 2008, no. 1, pp. 5–11. (in Russ.)
54. Kolokol'tsev V.M. [Nosov Magnitogorsk State Technical University. History. Development]. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*, 2014, no. 1 (45), pp. 5–6. (in Russ.)
55. Chukin M.V., Kolokol'tsev V.M., Gun G.S., Salganik V.M., Platov S.I. [Scientific Work of the State Educational Institution of Higher Professional Education "Magnitogorsk State Technical University" During Nanotechnology Development]. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*, 2008, no. 1, pp. 55–59. (in Russ.)

Обработка металлов давлением

56. Kolokol'tsev V.M., Gol'sov A.S., Bryalin M.F. [An Increase in Service Properties of Castings from Heat- and Wear-Resistant Chromium-Manganese Cast Irons]. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*, 2007, no. 4 (20), pp. 22–25. (in Russ.)

57. Gun G.S. [Innovative Solutions in the Metal Forming Processes (Scientific Review)]. *Kachestvo v obrabotke materialov*, 2014, no. 2, pp. 5–26. (in Russ.)

58. Gun G.S. [Innovative Methods and Solutions in Material Forming Processes]. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*, 2014, no. 4 (48), pp. 99–113. (in Russ.)

Received 7 May 2015

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Гун, Г.С. Развитие теории обработки металлов давлением (научный обзор). Часть 2 / Г.С. Гун // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2015. – Т. 15, № 3. – С. 116–126.

FOR CITATION

Gun G.S. Development of the Theory of Metal Forming Processes (Scientific Review). Part 2. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*, 2015, vol. 15, no. 3, pp. 116–126. (in Russ.)
