

СТАНДАРТИЗАЦИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ

УДК 658.6

DOI:10.18503/1995-2732-2016-14-1-101-108

ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ И ПРИНЦИПОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ АДАПТАЦИИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА В ПРОЦЕССАХ ПРОИЗВОДСТВА МЕТИЗНОЙ ПРОДУКЦИИ

Голубчик Э.М.¹, Кузнецова А.С.¹, Рубин Г.Ш.¹, Гун Г.С.¹, Дья Х.²¹ Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия² Ченстоховский Технологический Университет, Польша

Аннотация. В настоящее время наблюдается тенденция ужесточения требований потребителей к металлопродукции. В связи с этим для повышения своих конкурентных преимуществ металлопроизводители должны быть способны оперативно адаптироваться к изменяющимся условиям, что особенно актуально для рынка метизной продукции. При этом получают свое дальнейшее развитие технологии, основанные на применении новых материалов повышенной и высокой прочности, в частности сталей с ультрамелкозернистой структурой. Внедрение данных материалов в метизной отрасли предполагает применение новых современных методов и подходов к исследованию технологических процессов. Учеными ФГБОУ ВПО «МГТУ» разработана методология адаптивного управления качеством металлопродукции широкого спектра назначения, предусматривающая возможность построения технологического процесса с гарантированным обеспечением нормируемого уровня качества в условиях неполноты априорной информации. Целью работы являлись разработка и исследование технологии производства крепежных изделий повышенного класса прочности с применением сталей марок 20 и 45 с УМЗ структурой в условиях действующего предприятия ОАО «ММК-МЕТИЗ». В работе представлены результаты комплексных исследований применимости новой методологии на примере разработки технологии холодной объемной штамповки болтов М10 и М16.

Ключевые слова: адаптивное управление качеством, прогнозирование, крепеж, прочность, УМЗ структура.

Постановка проблемы

Своевременная адаптация предприятия к рыночным условиям является одним из прогрессивных, высокоэффективных приемов управления производственными процессами, способствующих повышению качества технологических процессов, доходности предприятий, экономического роста и, как следствие, достижению высокой конкурентоспособности выпускаемой продукции как на российском, так и на мировом рынке.

На предприятиях металлургической отрасли обеспечить оперативную адаптацию к современным условиям быстро меняющегося рынка металлопродукции возможно, в первую очередь, благодаря всестороннему внедрению новых материалов, передовых технологий их переработки, технико-технологического об-

новления производства, а также применению инновационных разработок в области управления качеством. Особенно это актуально для метизной промышленности, в которой на большинстве российских предприятий отрасли наблюдается преобладание физически и морально устаревших технологий и оборудования. При этом на рынке метизной продукции существенно возросли требования к повышению механических и, в первую очередь, прочностных свойств изделий.

В металлургической практике все активнее расширяется применение нового класса сталей, таких как стали с ультрамелкозернистой структурой (УМЗ структурой), позволяющих в значительной степени обеспечить растущие требования потребителей по качеству и уровню механических свойств, составляя конкуренцию дорогостоящим легированным сталям [1–20]. В

то же время производство металлоизделий, в том числе машиностроительного крепежа из сталей с УМЗ структурой, ограничено, во-первых, из-за отсутствия разработанных принципов и подходов к управлению показателями качества изделий из подобных материалов на различных технологических стадиях производства и, во-вторых, в связи с несовершенством существующих методик исследования физико-механических свойств крепежа, требующих их оперативной технологической адаптации применительно к сталям с УМЗ структурой.

В таких условиях достаточно эффективными могут являться принципы адаптивного управления качеством в совокупности с применением современных инженерных программных комплексов моделирования процессов ОМД, таких, например, как DEFORM-3D® [21].

В связи с вышеизложенным, целью настоящей работы являлось проведение комплекса исследований, связанных с анализом возможностей производства крепежа повышенного класса прочности из сталей с УМЗ структурой в условиях действующего метизного предприятия на основе разработки модели и принципов технологической адаптации показателей качества метизов в процессах холодной объемной штамповки (ХОШ).

Теория, материалы и методы исследования, технические и технологические разработки

В настоящее время в мировой производственной практике активно развиваются концепции, основанные на принципах адаптивного управления качеством [22–28]. Несмотря на достаточное многообразие известных подходов адаптивного управления, все они строятся на основе оценки результатов деятельности производственной системы на уже полученных фактических данных, что не позволяет осуществлять оперативное управление качеством на отдельно взятой технологической стадии жизненного цикла продукции. Кроме того, традиционные методики не обеспечивают возможность раннего прогнозирования уровня качественных показателей, который может быть достигнут к финишным стадиям технологической обработки, что не позволяет осуществить выбор наиболее приемлемого решения ведения технологического процесса при изменяющихся внешних воздействиях (например, требованиях потребителей), который бы гарантированно обеспечивал до-

стижение в конечном металлоизделии нормированного уровня качества.

В ФГБОУ ВПО «МГТУ» разработан новый методологический подход по адаптивному управлению качеством в условиях иерархически сложных технологических систем, позволяющий учитывать влияние изменчивости показателей качества при производстве металлопродукции на достигаемый конечный уровень ее свойств в зависимости от внешних воздействий, а также осуществлять раннее прогнозирование формируемого комплекса параметров в условиях действующего металлургического предприятия [29]. Основу данного подхода составляет модель технологической адаптации (рис. 1). Ее сущность заключается в обеспечении возможности управления нормируемыми свойствами выпускаемого металлоизделия Z за счет соответствующего адаптивного управления параметрами обработки изделия/заготовки на данной технологической стадии (параметрическая адаптация) или путем изменения структуры процесса – последовательности и/или набора технологических операций (структурная адаптация). Кроме того, модель предусматривает адаптацию требуемого набора параметров в исходной заготовке (например, для катанки это – размерно-марочный сортамент). При этом устанавливается внутренний по переделам целевой уровень по качеству R, который за счет структурно-параметрической технологической адаптации приближается к внешнему нормируемому целевому уровню Z.

На основе представленной методологии применительно к процессам производства крепежа из сталей с УМЗ структурой были разработаны следующие принципы технологической адаптации:

- принцип «альтернативности» – применение альтернативных типов стали (сталь с УМЗ структурой);

- принцип «экономической оптимальности» – для каждого вида металлоизделия должно быть найдено соответствие между эффективностью применения данного материала и совокупными затратами на реализацию производства изделия из него;

- принцип «гибкости» – способность технологической системы изменять свои составляющие и направленность в соответствии с требованиями потребителей и возможностями производителей.



Рис. 1. Структурная модель технологической адаптации показателей качества металлопродукции

В рамках рассматриваемой концепции адаптивного управления был предложен универсальный алгоритм, позволяющий осуществлять прогнозирование достигаемого конечного уровня значений показателей качества готового металлоизделия на ранних стадиях его производства без проведения затратных испытаний разрушающими методами. В общем случае разработанный алгоритм адаптивного управления показателями качества в процессах ХОШ включает следующие структурные элементы: анализ научной и технической документации; анализ базовой (адаптированной) технологии производства; анализ возможности реализации предлагаемых адаптивных технологических мероприятий и процедур с учетом особенностей используемых материально-технических ресурсов и оборудования; анализ результатов и выдача рекомендаций к внедрению в производство.

Реализация разработанной модели осуществлялась при изготовлении болтов с шестигранной головкой методом высадки, предварительно калиброванных с различной степенью суммарного обжата, на основе технологической схемы производства, действующей в условиях ОАО «ММК-МЕТИЗ» (г. Магнитогорск).

Результаты исследования и их обсуждение

На основе разработанного подхода для обеспечения возможности производства болтов М10 и М16 из стали марок 20 и 45 с УМЗ структурой на существующем в условиях ОАО «ММК-МЕТИЗ» оборудовании первоначально было проведено исследование в программном комплексе DEFORM-3D®, включающее моделирование процесса калибрования, ХОШ и последующие аттестационные испытания (рис. 2) [30, 31].

Для проверки адекватности результатов компьютерного моделирования было осуществлено опытное изготовление болтов М10 и М16 из стали с УМЗ структурой по разработанному режимам. В таблице представлены полученные сравнительные результаты механических свойств крепежа.

На рис. 3, 4 представлены микроструктуры болтов М10 и М16 из стали марок 20 и 45 с УМЗ структурой, полученных с применением предварительной обработки заготовки методом РКУП.

Анализ полученных результатов показал, что использование стали с УМЗ структурой позволило достичь повышенного уровня механических свойств по сравнению с традици-

онно получаемыми марками стали. Испытания показали, что болты, изготовленные из стали марки 20, имели класс прочности 6.8 и $\sigma_B = 686 \text{ Н/мм}^2$, а болты из стали марки 45 – класс прочности 8.8 и $\sigma_B = 873 \text{ Н/мм}^2$ (в соответствии с ГОСТ Р 52627-2006). Сравнительный анализ результатов экспериментальных исследований и математического моделирования подтвердил адекватность полученных

данных и возможность использования программной среды DEFORM-3D для прогнозирования свойств метизов.

Результаты проведенных исследований подтвердили технологическую возможность применения сталей марок 20 и 45 с УМЗ структурой для производства крепежа повышенного класса прочности в условиях действующего метизного предприятия.

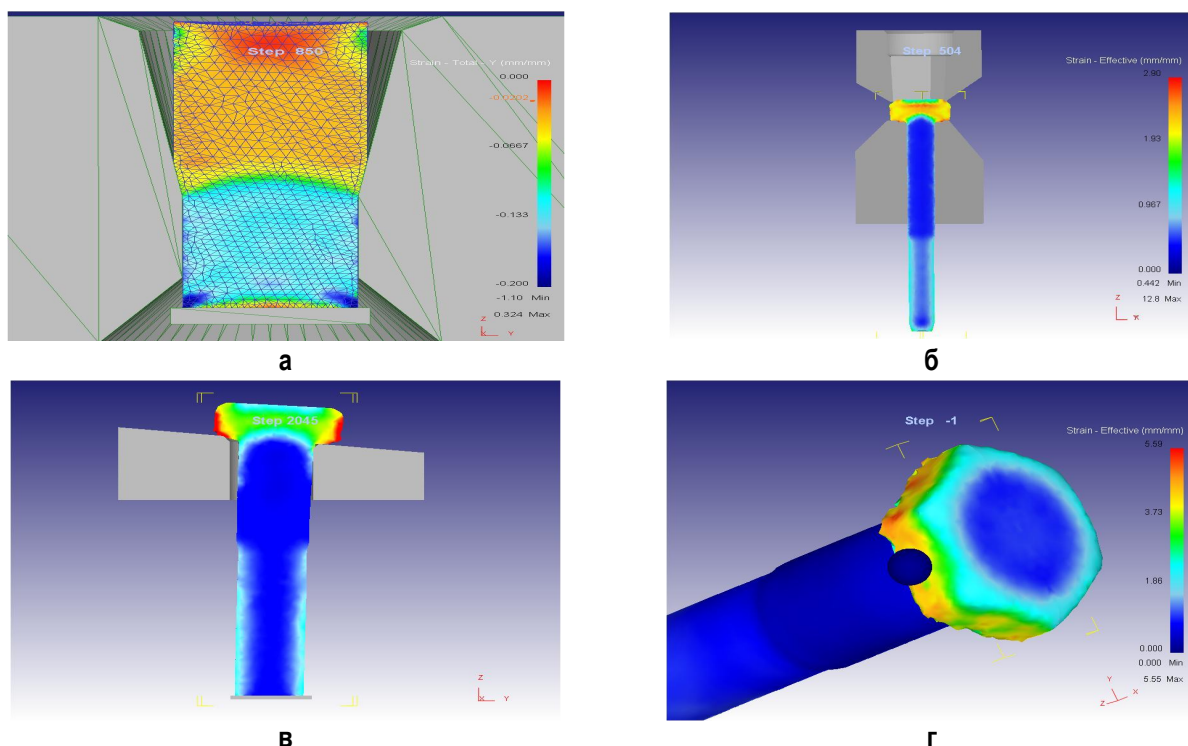


Рис. 2. Моделирование технологических операций ХОШ в программном комплексе DEFORM-3D: а – калибрование; б – холодная объемная штамповка; в – испытание на растяжение на кривой шайбе; г – измерение твердости по Бринеллю

Физико-механические свойства машиностроительного крепежа после операции калибрования и испытаний на растяжение на кривой шайбе болтов из стали марок 20 и 45 с УМЗ структурой

Вид крепежа	Маршрут калибрования	Суммарная степень обжатия, %	Временное сопротивление разрыву (после калибрования) σ_B , МПа		Временное сопротивление разрыву (после высадки болта), с УМЗ структурой/традиционные, σ_B , МПа		Значение твердости по Бринеллю, НВ	
			Сталь 20	Сталь 45	Сталь 20	Сталь 45	Сталь 20	Сталь 45
Болт М10	9,65	0	791,4	890	811/770	902	257	300
	12-9, 65	35	1019	1159	870	1018	264	307
	14-12-9, 65	52,5	1044	1245	886	1039	250	279
Болт М16	15,5	0	797	890	816/686	924/873	256	299
	17-15,5	18	966,5	1112	869	1014	263	307
	19-17-15,5	34	1025	1310	891	1042	257	300

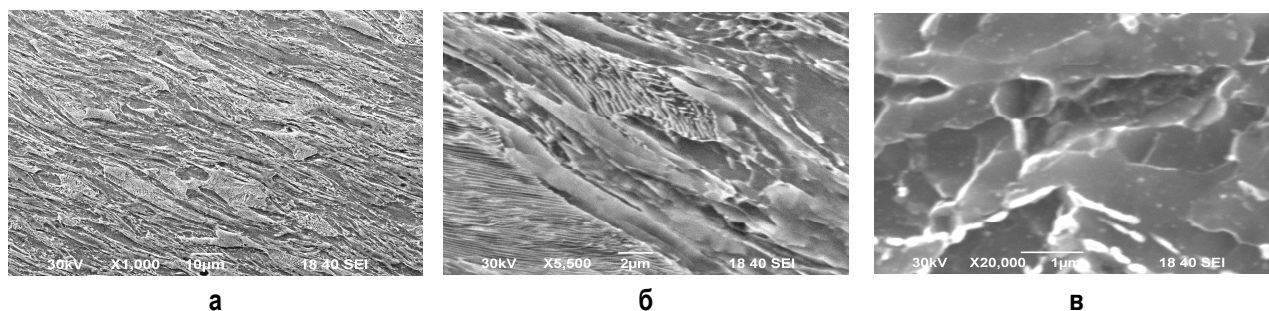


Рис. 2. Особенности микроструктуры в продольном сечении болта диаметром 16 мм из стали марки 20 с УМЗ структурой: а – общий вид; б – деформационные полосы; в – фрагменты в феррите

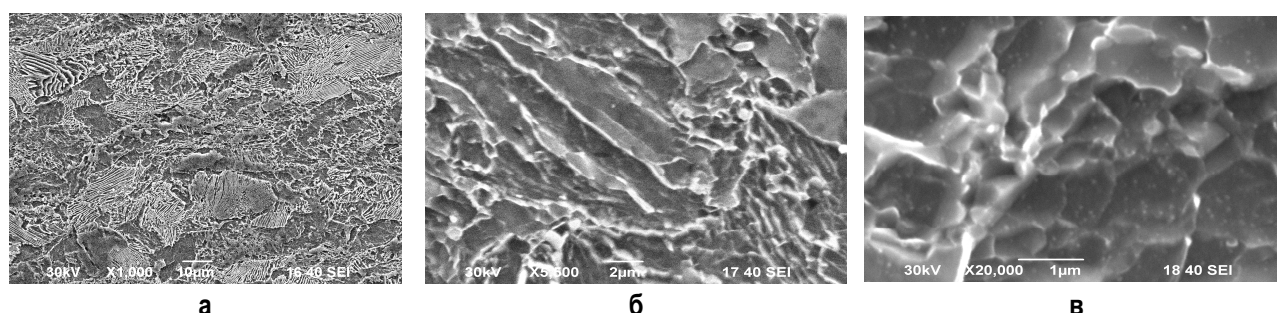


Рис. 3. Особенности микроструктуры в продольном сечении болта диаметром 16 мм из стали марки 45 с УМЗ структурой: а – общий вид; б – деформационные полосы; в – фрагменты в феррите

Закключение

Применение предложенного подхода, основанного на принципах технологической адаптации показателей качества, позволило с высокой эффективностью разработать и реализовать процесс изготовления инновационных видов металлоизделий в условиях предприятия металлургической отрасли, а также определить наиболее рациональные схемы построения технологических воздействий с возможностью обеспечения нормируемого потребителями уровня качества.

Работа проведена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках реализации комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства с участием высшего образовательного учреждения (Договор № 02.G25.31.0178), а также государственного задания Минобрнауки России № 11.1525.2014К от 18 июля 2014 г.

Список литературы

1. Корчунов А.Г., Чукин М.В., Полякова М.А. Принципы проектирования непрерывного способа получения стальной проволоки с ультрамелкозернистой структурой // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2011. № 1. С. 43–46.
2. Чукин М.В., Полякова М.А., Емалеева Д.Г. Влияние комбинированных методов деформационной обработки на механические свойства углеродистой проволоки // Черные металлы. 2014. № 12. С. 35–39.

3. Чукин М.В., Колцева Н.В., Валиев Р.З. Дифракционный электронно-микроскопический анализ субмикроструктурной и нанокристаллической структуры конструкционных углеродистых сталей после равноканального углового прессования и последующего деформирования // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2008. №1. С. 31–37.
4. Инновационный потенциал новых технологий производства метизных изделий из наноструктурных сталей / Чукин М.В., Колцева Н.В., Барышников М.П., Ефимова Ю.Ю., Носов А.Д., Носков Е.П., Коломиец Б.А. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2009. № 2. С. 64–68.
5. Ефимова Ю.Ю., Колцева Н.В., Никитенко О.А. Исследование состояния карбидной фазы после наноструктурирования и последующего волочения низкоуглеродистой стали // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2009. № 3. С. 45–48.
6. Колцева Н.В., Михоленко Д.А., Ефимова Ю.Ю. Эволюция микроструктуры и свойств при нагреве ферритно-перлитных углеродистых конструкционных сталей с ультрамелкозернистой структурой, сформированной интенсивной пластической деформацией // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2011. Т. 7. №9. С. 85–91.
7. Актуальные проблемы квалиметрии метизного производства в период зарождения шестого технологического уклада / Гун Г.С., Чукин М.В., Рубин Г.Ш., Мезин И.Ю., Корчунов А.Г. // Металлург. 2014. № 4. С. 92–95.
8. Перспективы производства высокопрочной стальной арматуры для железобетонных шпал нового поколения на основе термомеханического наноструктурирования / Чукин М.В., Гун Г.С., Корчунов А.Г., Полякова М.А. // Черная металлургия: Бюл. Черметинформации. 2012. Вып. 4. С. 100–105.
9. Исследование физико-механических свойств и структуры высокопрочных многофункциональных сплавов инварного класса нового поколения / Чукин М.В., Голубчик Э.М., Гун Г.С., Колце-

- ва Н.В., Ефимова Ю.Ю., Чукин Д.М., Матушкин А.Н. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. № 1 (45). С. 43–48.
10. Генезис научных исследований в области качества металлопродукции / Гун Г.С., Мезин И.Ю., Рубин Г.Ш., Минаев А.А., Назайбеков А.Е., Дья Х. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. № 1 (45). С. 92–97.
11. Научно-педагогическая школа Магнитогорского государственного технического университета по управлению качеством продукции и производственных процессов / Гун Г.С., Мезин И.Ю., Корчунов А.Г., Чукин М.В., Гун И.Г., Рубин Г.Ш. // Качество в обработке материалов. 2014. № 1. С. 5–8.
12. Nanodimensional structural part formation in high carbon steel structural part formation by thermal and deformation processing / Chukin M.V., Korchunov A.G., Gun G.S., Polyakova M.A., Koptseva N.V. // Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University. 2013, no. 5 (45), pp. 33–35.
13. Гун Г.С., Чукин М.В., Рубин Г.Ш. Управление качеством в метизном производстве // Металлургические процессы и оборудование / ООО «Технопарк Дон ГТУ «УНИТЕКС» (Донецк, Украина). 2013. № 4(34). С. 106–112.
14. Управление качеством продукции в технологиях метизного производства: монография / Корчунов А.Г., Чукин М.В., Гун Г.С., Полякова М.А. М.: Издательский дом «Руда и металлы», 2012. 164 с.
15. Разработка теории квалиметрии метизного производства / Рубин Г.Ш., Чукин М.В., Гун Г.С., Закиров Д.М., Гун И.Г. // Черные металлы. 2012, июль. С. 15–21.
16. Научная деятельность ГОУ ВПО «МГТУ» в условиях развития нанотехнологий / Чукин М.В., Колокольцев В.М., Гун Г.С., Салганик В.М., Платов С.И. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2009. № 2 (26). С. 55–59.
17. Особенности реологических свойств конструкционных наносталей / Чукин М.В., Гун Г.С., Барышников М.П. и др. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2008. № 1. С. 24–27.
18. Создание и развитие теории квалиметрии металлургии / Гун Г.С., Рубин Г.Ш., Чукин М.В., Гун И.Г., Мезин И.Ю., Корчунов А.Г. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2003. № 5(45). С. 67–69.
19. Ресурсосбережение в метизном производстве: коллективная монография / Зюзин В.И., Клековкина Н.А., Харитонов В.А. и др. Магнитогорск, 2001. 163 с.
20. Гун Г.С., Пудов Е.А., Иванова Л.Б. Оптимизация процессов обработки металлов давлением по комплексному критерию качества // Изв. вузов. Черная металлургия. 1982. № 8. С. 62–65.
21. Голубчик Э.М., Чукин М.В., Кузнецова А.С. Разработка модели адаптивного управления качеством крепежных изделий на основе моделирования в среде Deform-3D // Сталь. 2014. № 4. С. 61–62.
22. Hong-Seok Park, Ngoc-Hien Tran. An autonomous manufacturing system for adapting to disturbances. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. October 2011, vol. 56, iss. 9–12, pp. 1159–1165.
23. Hong-Seok Park, Ngoc-Hien Tran. A cognitive agent based manufacturing system adapting to disturbances // International Journal of Control, Automation and Systems. August 2012, vol. 10, iss. 4, pp. 806–816.
24. Marc B. Sokol. Adaptation to difficult designs: Facilitating use of new technology // Journal of Business and Psychology. Spring 1994, vol. 8, iss. 3, pp. 277–296.
25. Namwoon Kim, Jae H. Pae, Utilization of new technologies: organizational adaptation to business environments // Journal of the Academy of Marketing Science. June 2007, vol. 35, iss. 2, pp. 259–269.
26. Ulrich Müller Simulation of a real-time process adaptation in the manufacture of high-density fibreboards using multivariate regression analysis and feedforward control / Martin Riegler, Bernhard Spangl, Martin Weigl, Rupert Wimmer // Wood Science and Technology. July 2013.
27. Seid Žapčević, Peter Butala. Adaptive process control based on a self-learning mechanism in autonomous manufacturing systems // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. June 2013, vol. 66, iss. 9–12, pp. 1725–1743.
28. Claudio A. Policastro, André C. P. L. F. Carvalho, Alexandre C. B. Delbem. A hybrid case adaptation approach for case-based reasoning // Applied Intelligence. April 2008, vol. 28, iss. 2, pp. 101–119.
29. Голубчик Э.М. Адаптивное управление качеством металлопродукции // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. №1. С. 63–69.
30. Чукин М.В., Кузнецова А.С., Емалеева Д.Г. Анализ возможности производства крепежа повышенного класса прочности из углеродистой конструкционной стали с ультрамелкозернистой структурой // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 2012. № 1. С. 41–45.
31. Чукин М.В., Кузнецова А.С., Барышников М.П. Определение возможности достижения высоких классов прочности болтов из углеродистой стали с ультрамелкозернистой структурой моделированием измерения твердости по Бринеллю // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2012. Т. 8. № 4. С. 150–152.

Материал поступил в редакцию 03.03.16.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

DOI:10.18503/1995-2732-2016-14-1-101-108

APPLICATION OF MODELS AND PRINCIPLES OF QUALITY INDICATOR TECHNOLOGICAL ADAPTATION IN METALWARE PRODUCTION PROCESSES

Golubchik Edward Mikhailovich – D.Sc. (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: golub66@mail.ru;

Kuznetsova Alla Sergeyevna – Research Assistant, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: allakuznetsova.mgtu@mail.ru;

Rubin Gennady Shmulievich – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: rubingsh@gmail.com;

Gun Gennady Semionovich – D.Sc. (Eng.), Professor, Adviser to the Rector of Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. Phone: +7 (3519) 29-85-26. E-mail: mgtu@magtu.ru.

Dyja Henryk – D.Sc. (Eng.), Professor, Director of the Institute of Metal Forming and Engineering Security, Czestochowa University of Technology, Poland. E-mail: dyja@wip.pcz.pl.

Abstract. Currently, there is a tendency in strengthening consumers' requirements for metal products. That is why metalware manufacturers have to be able to promptly adjust to changing market conditions in order to increase their competitive strengths, which is especially critical for the metalware market. At the same time, technologies based on the application of new high-strength materials, UFG steels in particular, are gaining traction. Implementation of these materials in metalware production implies the application of new state-of-the-art methods and approaches to research in the technological process. NMSTU scientists have elaborated a new adaptive quality management methodology for metalware products with a vast scope of application which provides for possible process engineering with a firm assurance of rated quality level under the conditions of apriori information incompleteness. The study aimed at the development and exploration of production process of high-strength fasteners made from 20&45 grade UFG steels at the premises of "MMK-METIZ" OJSC. This article presents the results of integrated investigations of the new methodology applicability as exemplified in the development of M10&M16 bolt cold forging technology.

Keywords: Adaptive quality management, forecasting, fasteners, strength, ultra-fine grain (UFG) structure.

References

1. Korchunov A.G., Chukin M.V., Polyakova M.A. Design philosophy of the continuous process of UFG steel wire production. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University], 2011, no. 1, pp. 43–46.
2. Chukin M.V., Polyakova M.A., Gulin A.E., Yemaleeva D.G. Influence of combined methods of deformation processing on mechanical properties of carbon wire. *Chiornye metally* [Ferrous metals], 2014, no. 12, pp. 35–39.
3. Chukin M.V., Koptseva N.V., Valiev R.Z., Yakovleva I.L., Zrnik G., Covarik T. Diffraction electron-microscopic analysis of the submicrocrystalline and nanocrystalline structure of constructional carbon steels after equal channel angular pressing and further deformation. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University], 2008, no. 1, pp. 31–37.
4. Chukin M., Koptseva N., Barushnikov M., Yefimova Y., Nosov A., Noskov S., Kolomiets B. Innovative potential of new metalware production technologies from nanostructured steels. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University], 2009, no. 2, pp. 64–68.
5. Yefimova Yu.Yu., Koptseva N.V., Nikitenko O.A. Investigation of the state of the carbide phase after nanostructuring and subsequent drawing of low carbon steel. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University], 2009, no. 3, pp. 45–48.
6. Koptseva N.V., Mikholenko D.A., Yefimova Yu.Yu. Evolution of the microstructure and properties when heating ferrite-perlite carbon constructional steel with the ultra-fine grain structure generated by intensive plastic deformation. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Vestnik of Voronezh State Technical University], 2011, vol. 7, no. 9, pp. 85–91.
7. Gun G.S., Chukin M.V., Rubin G.Sh., Mezin I.Yu., Korchunov A.G. Current issues of metalware production qualimetry during the rise of the sixth technological wave. *Metallurg* [Metallurgist], 2014, no. 4, pp. 92–95.
8. Chukin M.V., Gun G.S., Korchunov A.G., Polyakova M.A. Prospects for high-strength steel reinforcement bars for new-generation ferroconcrete sleepers based on thermal and deformational nanostructuring. *Chernaya metallurgiya: Byulleten Chernetinformatsii* [Ferrous Metallurgy. Bulletin of Chernetinformatsia], 2012, vol. 4, pp. 100–105.
9. Chukin M.V., Golubchik E.M., Gun G.S., Koptseva N.V., Yefimova Yu.Yu., Chukin D.M., Matushkin A.N. Study of physical and mechanical properties and the structure of high-strength new-generation general-purpose invar alloys. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University], 2014, no. 1 (45), pp. 43–48.
10. G.S. Gun, I.Yu. Mezin, G.Sh. Rubin, A.A. Minaev, A.E. Nazaibekov, H. Dyja. Research genesis in the field of steel products quality. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University], 2014, no. 1 (45), pp. 92–97.
11. 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 materialo* [Quality in materials processing], 2014, no. 1, pp. 5–8.
12. Chukin M.V., Korchunov A.G., Gun G.S., Polyakova M.A., Koptseva N.V. Nanodimensional structural part formation in high carbon steel by thermal and deformation processing. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University], 2013, no. 5 (45), pp. 33–35.
13. Gun G.S., Chukin M.V., Rubin G.Sh. Quality management in metalware production. *Metallurgicheskie protsessy i oborudovanie* [Metallurgical processes and equipment]. Tekhnopark Don GTU UNITEKS LLC (Donetsk, Ukraine). 2013, no. 4 (34), pp. 106–112.
14. Korchunov A.G., Chukin M.V., Gun G.S., Polyakova M.A. *Upravlenie kachestvom produktsii v tekhnologiyakh metiznogo proizvodstva* [Product quality management in metalware production technologies: monograph]. Moscow: Ore and metals, 2012, 164 p.
15. Rubin G.Sh., Chukin M.V., Gun G.S., Zakirov D.M., Gun I.G. Development of the metalware production qualimetry theory. *Chiornye metally* [Ferrous Metals], July 2012, pp. 15–21.
16. Chukin M.V., Kolokoltsev V.M., Gun G.S., Salganik V.M., Platon S.I. Scientific activities of the State Educational Institution of Higher Professional Education "Magnitogorsk State Technical University" under the nanotechnology development conditions. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University], 2009, no. 2 (26), pp. 55–59.
17. Peculiarities of rheological properties of constructional nanosteels. Chukin M.V., Gun G.S., Baryshnikov M.P. and colleagues. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University], 2008, no. 1, pp. 24–27.
18. Metallurgy qualimetry theory design and development / G.S. Gun, G.Sh. Rubin, M.V. Chukin, I.G. Gun, I.U. Mezin, A.G. Korchunov. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University], 2013, no. 5 (45), pp. 67–69.

19. Zyuzin V.I., Radionova L.V., Radionov A.A. and colleagues. *Resursosberezhenie v metiznom proizvodstve* [Resource saving in metalware production], Magnitogorsk, NMSTU, 2001, 160 p.
20. Gun G.S., Pudov E.A., Ivanova L.B. [Optimization of Metal Forming Processes with an Integrated Quality Criterion]. *Izvestiya vuzov. Chornaya Metallurgiya* [Bulletin of Higher Educational Institutions. Ferrous Metallurgy], 1982, no. 8, pp. 62–65.
21. Chukin M.V., Golubchik E.M., Kuznetsova A.S. Development of a model of an adaptive quality management of fasteners on the basis of DEFORM-3D modeling. *Stal* [Steel], 2014, no. 4, pp. 61–66.
22. Hong-Seok Park, Ngoc-Hien Tran. An autonomous manufacturing system for adapting to disturbances. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. October 2011, vol. 56, iss. 9-12, pp. 1159–1165.
23. Hong-Seok Park, Ngoc-Hien Tran. A cognitive agent based manufacturing system adapting to disturbances. *International Journal of Control, Automation and Systems*. August 2012, vol. 10, iss. 4, pp. 806–816.
24. Marc B. Sokol. Adaptation to difficult designs: Facilitating use of new technology. *Journal of Business and Psychology*. Spring 1994, vol. 8, iss. 3, pp. 277–296.
25. Namwoon Kim, Jae H. Pae, Utilization of new technologies: organizational adaptation to business environments. *Journal of the Academy of Marketing Science*. June 2007, vol. 35, iss. 2, pp. 259–269.
26. Martin Riegler, Bernhard Spangl, Martin Weigl, Rupert Wimmer, Ulrich Müller Simulation of a real-time process adaptation in the manufacture of high-density fibreboards using multivariate regression analysis and feedforward control. *Wood Science and Technology*. July 2013.
27. Seid Žapčević, Peter Butala. Adaptive process control based on a self-learning mechanism in autonomous manufacturing systems. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. June 2013, vol. 66, iss. 9-12, pp. 1725–1743.
28. Claudio A. Policastro, André C. P. L. F. Carvalho, Alexandre C. B. Delbem. A hybrid case adaptation approach for case-based reasoning. *Applied Intelligence*. April 2008, vol. 28, iss. 2, pp 101–119.
29. Golubchik E.M. Adaptive control of metal products quality. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova*. [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University], 2014, no. 1, pp. 63–68.
30. Chukin M.V., Kuznetsova A.S., Yemaleyeva D.G. Analysis of the ability to produce high-strength grade fasteners made of carbon structural steels with an ultra-fine grain structure. *Kuznechno-shtampovoe proizvodstvo. Obrabotka materialov davleniem* [Die Forging Production. Metal Forming], 2012, no. 1, pp. 41–45.
31. Chukin M.V., Kuznetsova A.S., Baryshnikov M.P. Determination of a possibility to obtain high-strength bolts made from carbon steel with an ultra-fine grain structure by Brinell hardness test modelling. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Vestnik of Voronezh State Technical University], 2012, vol. 8, no. 4, pp. 150–152.

Методология модернизации технологии горячей объемной штамповки алюминиевых сплавов методом компьютерного моделирования / Голубчик Э.М., Кузнецова А.С., Рубин Г.Ш., Гун Г.С., Дья Х. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2016. Т. 14. №1. С. 101–108. doi:10.18503/1995-2732-2016-14-1-101-108

Golubchik E.M., Kuznetsova A.S., Rubin G.Sh., Gun G.S., Dyja H. Application of models and principles of quality indicator technological adaptation in metalware production processes. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2016, vol. 14, no. 1, pp. 101–108. doi:10.18503/1995-2732-2016-14-1-101-108