



УДК 621.778.8

**А.Ю. Столяров, А.Р. Базыков**  
ОАО «Магнитогорский метизно-калибровочный завод  
«ММК-МЕТИЗ»  
г. Магнитогорск, Россия  
E-mail: stolyarov.ay@mmk-metiz.ru  
Дата поступления 01.07.2022

## ИЗГОТОВЛЕНИЕ КРЕПЕЖА ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИННОВАЦИОННЫХ МАРОК СТАЛЕЙ

### Аннотация

В работе предложены технологические решения для освоения инновационных марок сталей и получения крепежа класса прочности 10.9, 12.9, применяемого в автомобилестроении. На основании результатов термодинамического моделирования и проведения физических экспериментов получены режимы сфероидизирующего отжига горячекатаного проката из сталей марки 32CrB4, 36MnB4, 42CrMo4, 40XH2MA, а также режимы термической обработки крепежных изделий. Дополнительно для анализа процесса проведено математическое моделирование процессов штамповки и накатки резьбы, получены схемы напряженно деформированного состояния материала, оценено направление течения металла.

**Ключевые слова:** автомобилестроение, крепеж, болт, штамповка, термическая обработка, моделирование.

### Введение

В 2021 году группой компаний ПАО «ММК» совместно с ЦНИИЧермет имени И.П. Бардина и при поддержке Министерства промышленности и торговли Российской Федерации была развернута научно-исследовательская работа по освоению высокопрочного крепежа для нужд автомобилестроения.

**Целью работы** являлось получение крепежных изделий повышенных классов прочности: 10.9, 12.9, 14.9 из инновационных марок сталей.

Для изготовления и испытаний болтов налажены контакты с такими заводами производителями как ПАО «КАМАЗ» (Россия), ОАО «МАЗ» (Белоруссия).

### Основная часть

Поскольку изделия, предназначенные для автомобилестроения, отличаются повышенными требованиями к качеству, надежности и долговечности всех используемых комплектующих, для производства болтов были разработаны и выплавлены новые марки стали, с дополнительными легирующими элементами: 32CrB4, 36MnB4,

42CrMo4, 40XH2MA. Данные материалы призваны обеспечить одновременно прочностные и пластические свойства готовых изделий. При этом они должны быть технологически пригодными для процесса деформирования, так как изготовление болтов производится на многопозиционных высодочных автоматах [1].

Для освоения были выбраны болты колеса М22х85. Для первых опытных работ к использованию была согласована сталь марки 42CrMo4. Параллельно в рамках сотрудничества с ОАО «МАЗ» было запланировано изготовление болтов М16х135, М16х125 класса прочности 10.9 из общеизвестной стали марки 40Х. Производство болтов включает в себя следующие технологические операции:

- отжиг горячекатаного проката;
  - подготовка поверхности проката;
  - изготовление калиброванного проката;
  - штамповка заготовок болтов и накатка на них резьбы;
  - термообработка готовых изделий.
- Отжиг горячекатаного проката прово-

дился в колпаковых печах с длительной выдержкой и медленным охлаждением. Главной задачей операции было сформировать благоприятную для последующего деформирования микроструктуру стали с максимально возможным содержанием зернистого перлита [2].

При подготовке поверхности проката для дальнейших операций помимо операции травления и удаления окалины производилось нанесение фосфатного покрытия небольшой толщины, предназначенного для улучшения технологичности штамповки болтов и повышения стойкости технологического инструмента.

Для минимизации потерь предварительно было проведено математическое моделирование процесса штамповки болта в программном комплексе *QForm* [3], позволяющее оценить характер напряженно-деформированного состояния заготовки болта на каждом из технологических переходов и направление течения материала в процессе высадки (рисунок 1).

На основе полученных результатов была разработана технология изготовления болта по переходам и спроектирован технологический инструмент. Изготовление инструмента осуществлялось в условиях инструментального цеха ОАО «ММК-МЕТИЗ».

Штамповка болтов производилась на многопозиционных холодно-высадочных

автоматах и включала в себя следующие переходы:

- отрезка заготовки;
- предварительная высадка головки;
- окончательная высадка головки и формирование фаски;
- редуцирование стержня под накатку резьбы;
- обсечка облоя.

Окончательными операциями обработки давлением являлись накатка резьбы и специального рифления на стержне болта М22х85.

К готовым изделиям предъявлялись требования по ГОСТ IS 898-1-2014 «Механические свойства крепежных изделий из углеродистых и легированных сталей. Часть 1. Болты, винты и шпильки установленных классов прочности с крупным и мелким шагом резьбы» и дополнительные требования ПАО «КАМАЗ», касающиеся твердости готовых болтов.

Таблица 1

Содержание основных химических элементов в сталях, %

Марка стали	<i>C</i>	<i>Mn</i>	<i>Cr</i>	<i>Mo</i>
32CrB4	0,30-0,34	0,6-0,9	0,9-1,2	-
36MnB4	0,33-0,38	0,8-1,1	0,9-1,2	-
42CrMo4	0,38-0,45	0,6-0,9	0,9-1,2	0,15-0,30
40XH2MA	0,37-0,44	0,5-0,8	0,6-0,9	0,15-0,25

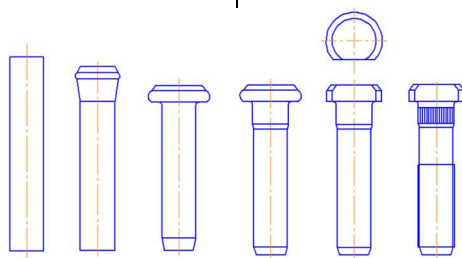


Рисунок 1 Схема высадки болта М22х85 по операциям

Таблица 2

Основные требуемые свойства готовых болтов

	Твердость	Разрушающая нагрузка	Ударная вязкость	Высота безуглеродженной зоны
М22х85	37-41 □□□	Не менее 406000 Н	Не менее 27 Дж	Не менее 0,6 мм
М16х135, М16х125	32-39 □□□	Не менее 163000 Н	Не менее 27 Дж	Не менее 0,6 мм

Операцией, формирующей свойства готового изделия, служила термическая обработка, которая осуществлялась в проходной печи тоннельного типа и проходила в определенной последовательности:

- обезжиривание;
- дефосфатирование;
- мойка болтов для удаления остаточной смазки;

- нагрев под закалку в защитной атмосфере;
- закалка в масле;
- отпуск;
- охлаждение болтов в эмульсии.

Для отработки режимов термической обработки предварительно проводились эксперименты в камерных печах на единичных изделиях.

В результате проведенных экспериментов удалось сформировать рекомендации к режиму термической обработки для производства промышленной опытной партии.

После испытаний в условиях завода изготовленные болты М22х85 были направлены в испытательный центр ПАО «КАМАЗ», болты М16х125, М16х135 в адрес ОАО «МАЗ» для проведения оценки со стороны потребителя. Во время проведения испытаний и в ходе переговоров с представителями заказчика стало ясно, что одним из важнейших показателей для крепежа, используемого в автомобилестроении, является предел усталости крепежного изделия, определяемый в ходе проведения циклических испытаний. На основе анализа зарубежной литературы [4, 5], для повышения показателя предложено изготавливать болты с накаткой резьбы после проведения термической обработки (закалка и отпуск). В рамках предварительной проработки вопроса было проведено компьютерное моделирование процесса накатки резьбы в программном комплексе QForm. В результате анализа результатов моделирования было установлено, что во впадинах резьбы после накатки образуются напряжения сжатия, а

изменение напряжений в процессе деформации происходит циклично, что положительно влияет на характер напряженно деформированного состояния изделия. При использовании общепринятой практики накатки резьбы до термической обработки, напряжения по сечению болта снимаются в результате операции отпуска.

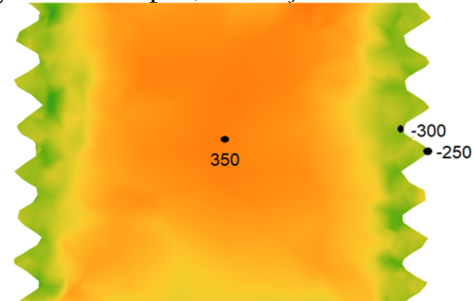


Рисунок 2. Распределение и значения средних напряжений в теле и резьбе болта после операции накатки

Кроме того, в процессе накатки происходит вытягивание зерен металла в основании резьбы. Совокупность факторов затрудняет механизм образования трещин и позволяет повысить предел усталости.

В ходе анализа полученных данных был сделан вывод о необходимости формирования свойств болтов не только при помощи термической обработки, но также с помощью пластической деформации.

В рамках дальнейших намеченных работ запланировано изготовление нескольких партий болтов М22х85 из сталей 40ХН2МА и 36МnВ4, их термическая обработка, проведение опытной накатки резьбы на закаленных образцах и отправка образцов в испытательный центр ПАО «КАМАЗ».

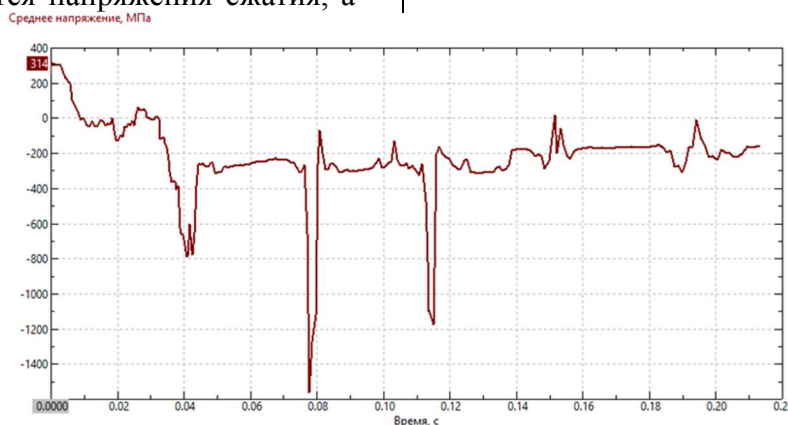


Рисунок 3. График изменения среднего напряжения от времени в точке на поверхности резьбы во время процесса накатки

## Заключение

В результате проведенных работ:

- изготовлены болты колеса М22х85 для ПАО «КАМАЗ» с использованием новой марки стали 42CrMo4, отличающейся повышенными прочностными характеристиками при сохранении пластических свойств;
- изготовлены болты М16х135, М16х125 для ОАО «МАЗ»;
- отработаны режимы термической обработки болтов для получения комплекса механических свойств;
- проведено моделирование процесса штамповки заготовок болтов по операциям, накатки резьбы, с анализом напряженно-деформированного состояния;
- сделан вывод о необходимости формирования свойств болтов не только при помощи термической обработки, но также с помощью пластической деформации (накатка резьбы после термической обработки).

## Библиографический список

1. Галиахметов Т.Ш. «Производство новых прогрессивных видов крепежа для автомобилестроения в АО «БЕЛЗАН» // Сталь. - 2021. - № 9. - С. 39-41.
2. Зайцев А.И. «Современная технология производство из высококачественного сортового проката методом холодной объемной штамповки (ХОШ) высокопрочных (в том числе, классов прочности 10.9, 12.9, 14.9) крепежных изделий для обеспечения нужд автомобилестроения и других ответственных назначений // Отчет о научно-исследовательской и опытно-конструкторской работе. -2022.
3. QForm, лицензия №R2-U2182-250821U147.
4. Marcelo, A.L., Uehara, A.Y., Utiyama, R.M., Ferreira, I. «Fatigue Properties of High Strength Bolts» // Procedia Engineering. - 2011. - №10. - С. 1297-1302.
5. Stephens, R., Bradley, N., Horn, N., Gradman, J. «Fatigue of High Strength Bolts Rolled Before or After Heat Treatment with Five Different Preload Levels» // SAE Technical Paper 2005-01-1321. - 2005, <https://doi.org/10.4271/2005-01-1321>.

---

*Information about the paper in English*

**A.Yu. Stolyarov, A.R. Bazykov**  
OJSC Magnitogorsk Metalware and Sizing Plant (MMK-METIZ)  
Magnitogorsk, Russia  
E-mail: stolyarov.ay@mmk-metiz.ru  
Received 01.07.2022

## MANUFACTURING FASTENERS FOR THE AUTOMOTIVE INDUSTRY, USING INNOVATIVE STEEL GRADES

### Abstract

The paper contains the proposed technological solutions for learning innovative steel grades and producing fasteners of strength grades 10.9, 12.9 used in the automotive industry. The thermodynamic simulation and physical experiments were conducted to determine the modes of spheroidizing annealing of hot rolled products from steel grades 32CrB4, 36MnB4, 42CrMo4, 40KhN2MA, and heat treatment modes for fasteners. In addition to the process analysis, the authors carried out a mathematical simulation of stamping and thread rolling processes, determined the stress and strain state of the material and evaluated the direction of metal flow.

**Keywords:** automotive industry, fasteners, bolt, stamping, heat treatment, simulation.

---