

ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

УДК 621.7

Пивоварова К.Г., Тагирова В.М., Новикова Т.А., Гун И.Г., Рамазанов К.Н., Федосеев С.А.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОПРОЧНЫХ КОЛЁСНЫХ БОЛТОВ ИЗ СПЕЦИАЛЬНЫХ ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

Аннотация. Производство крепежных изделий из специальных легированных сталей является насущной потребностью для российских автомобилестроительных компаний. В ОАО «ММК-Метиз» реализована комплексная программа изготовления высокопрочных крепежных изделий методами холодной объемной штамповки (ХОШ). Целью работы является разработка технологии производства высокопрочного автомобильного крепежа из экономлегированных марок стали 32CrV4, 36MnV4, 42CrMo4. При проведении исследования использовали методы световой, сканирующей электронной микроскопии. На промышленных образцах круглого проката исследованы формирование и эволюция структурного состояния горячекатаного проката в процессе сфероидизирующего отжига. В ходе лабораторного анализа установлена возможность получения сфероидизированной ферритно-перлитной структуры металлопроката. Результаты исследования внедрены при производстве опытных партий колесных болтов M16×125, M16×135, M22×85. Проведенные испытания подтвердили достижение требуемого уровня механических свойств по классам прочности 10.9 и 12.9. При анализе полученных данных был сделан вывод о необходимости формирования свойств болтов не только при помощи термической обработки, но и с помощью пластической деформации. Предложено изготавливать болты с накаткой резьбы после проведения термической обработки. Полученные результаты могут использоваться для промышленного производства автомобильного крепежа, востребованного на российском рынке.

Ключевые слова: сталь 32CrV4, сталь 36MnV4, сталь 42CrMo4, круглый прокат, сфероидизирующий отжиг, микроструктура, глобулярный перлит, закалка и отпуск, высокопрочные крепежные изделия

Введение

Высокопрочные крепежные изделия находят широкое применение в машиностроении, строительстве, многих других отраслях техники и промышленности [1,2]. Количество крепежных изделий (болтов, винтов, шпилек, гаек, шайб и т.п.) в современном автомобиле составляет до 60% от общей номенклатуры деталей и 2–3% от его веса.

Однако производство высокопрочных крепежных изделий в РФ составляет не более 20% от общего объема, в то время как в экономически развитых странах мира этот показатель составляет 90-95% [1]. Имеет место тенденция дальнейшего снижения объема производства высокопрочных крепежных изделий из-за увеличения объема их поступления из Китая и других стран Юго-Восточной Азии. Поэтому расширение производства и применение крепежных изделий повышенной прочности является актуальной задачей отечественной промышленности.

При разработке конкурентоспособных технологий холодной объемной штамповки (ХОШ) возможны следующие резервы повышения качества металлопродукции на всех стадиях технологического процесса:

- разработка новых марок стали;
- оптимизация структуры металла, технологии его обработки;
- использование новых прогрессивных смазочных материалов и способов подготовки поверхности проката перед высадкой.

Внедрение этих мероприятий позволит снизить нагрузки на инструмент и даст возможность существенного упрощения геометрии деталей. Важным звеном создания ресурсосберегающих технологий ХОШ является структурный подход при подготовке материала, обеспечивающий гибкое управление его свойствами за счет изменения дисперсности зерна, количества и морфологии фазовых составляющих.

Высокопрочные крепежные изделия изготавливаются из калиброванного проката из специальных легированных сталей. Обычно используются стали, содержащие хром, марганец, молибден, бор и другие элементы. Легирующие элементы позволяют значительно повысить эксплуатационные свойства автомобильного крепежа: прочность, твердость, износостойчивость, прокаливаемость и коррозионную стойкость [3].

Металлопрокат, используемый для производства высокопрочных крепежных изделий, должен обладать высоким и стабильным комплексом трудно сочетаемых показателей прочности, пластичности, коррозионной стойкости, качественных характеристик, оптимальной структурой. Он должен выдерживать холодную осадку до 1/3 исходной высоты образца без возникновения трещин и других дефектов. Для этого необходимо низкое содержание примесей, неметаллических включений, особенно в приповерхностной зоне, где они могут являться концентраторами напряжений и приводить к образованию трещин и неблагоприятного структурного состояния стали [4].

В рамках комплексной программы по обеспечению высокопрочными крепежными изделиями ПАО «Камаз» проводилось освоение технологии изготовления колесных болтов в условиях ОАО «ММК-

Метиз» [5]. Была поставлена задача разработки технологии производства крепежа из стали марок 32CrB4, 36MnB4 и 42CrMo4. Конечной целью программы являлась локализация производства высокопрочного автомобильного крепежа в РФ.

Исследование влияния структурного состояния горячекатаного проката на формирование механических свойств проката

Одним из перспективных направлений производства высокопрочного крепежа является получение калиброванного проката с механическими и пластическими свойствами, позволяющими производить холодную высадку крепежных изделий с прочностными показателями класса прочности 10.9, 12.9. Чтобы получить оптимальные свойства калиброванного проката, нужно точно установить режим предварительной термической обработки.

Типичная микроструктура сортового проката из среднеуглеродистых специальных легированных сталей после горячей прокатки включает феррит, пластинчатый перлит, бейнит [6]. Сталь с пластинчатой морфологией перлита имеет худшую деформируемость и пластичность, более высокую прочность, чем с глобулярной морфологией цементита [7, 8].

Наиболее распространенной предварительной технологической операцией подготовки проката из среднеуглеродистых и легированных сталей перед ХОШ является сфероидизирующий отжиг в колпаковых печах продолжительностью до 40 часов и более [9]. Но даже после столь длительных выдержек в структуре встречаются участки со следами пластинчатого перлита и не всегда обеспечивается равномерность свойств по длине бунта. В связи с этим актуальной является задача технологии сфероидизирующего отжига металлопроката, обеспечивающей однородность структуры и свойств по сечению и длине проката и рациональные условия высадки сложнопрофильных деталей [10].

С целью исследования влияния структурного состояния горячекатаного проката на эффективность

протекания сфероидизирующего отжига проведены лабораторные исследования режимов термообработки специальных легированных сталей.

Для исследования был выбран горячекатаный прокат сталей марок:

- 32CrB4 (диаметром 17,0 и 21,0 мм);
- 42CrMo4 (диаметром 18,0 и 22,0 мм);
- 36MnB4 (диаметром 17,0 мм).

Металлографические исследования на сканирующем электронном микроскопе JEOL JSM-6610LV и оптическом микроскопе НЕОРНОТ-21 показали, что образцы проката стали марки 32CrB4 в исходном состоянии имеют ферритно-перлитную микроструктуру с соотношением перлита и феррита 50/50 (рис. 1, а, б).

Образцы проката стали марки 42CrMo4 диаметром 18 мм обладали бейнитной структурой (рис. 2, а), в то время как образцы диаметром 22 мм имели ферритно-перлитную структуру с соотношением перлита и феррита 90/10 (рис. 2, б).

Микроструктура горячекатаного проката стали марки 36MnB4 состояла из пластинчатого перлита 1-4 балла.

Образцы подвергались сфероидизирующему отжигу по разным режимам в лабораторной электропечи. Отожженные образцы исследовали методом визуального определения соотношения глобулярного и пластинчатого перлита по ГОСТ 8233. Травление образцов осуществляли с помощью раствора «Ниталь» (4%-й раствор азотной кислоты в этиловом спирте).

По результатам проведенных исследований сделан вывод о том, что при отжиге горячекатаного проката с исходной микроструктурой – пластинчатый перлит с высокой долей феррита (25–50%) – кинетически затруднен процесс сфероидизации перлита. Получение бейнитной микроструктуры в исходном сортовом прокате позволяет повысить эффективность протекания глобулизации перлита. Это приводит к эффективной сфероидизации и, как следствие, получению относительного сужения отожженного проката не менее 70 % и хорошей способности к ХОШ.

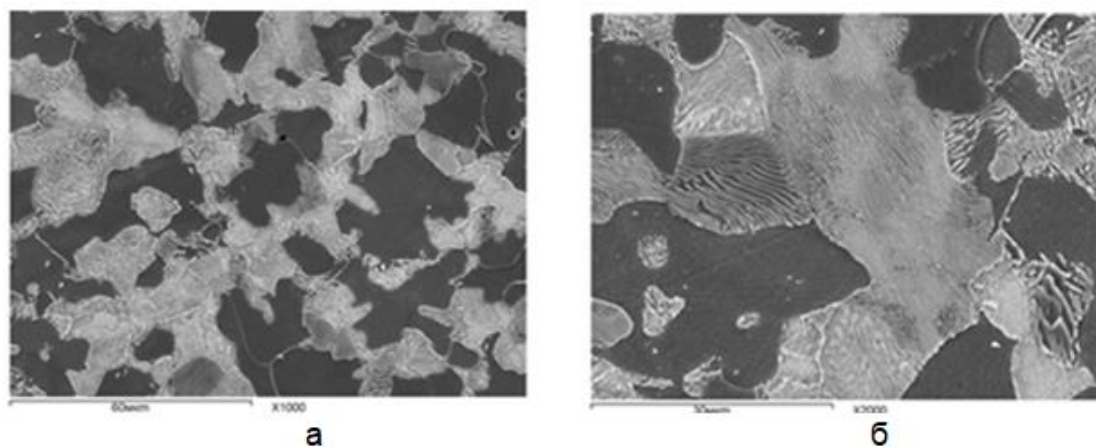


Рис. 1. Микроструктура образца проката стали марки 32CrB4: а – $\times 1000$; б – $\times 2000$

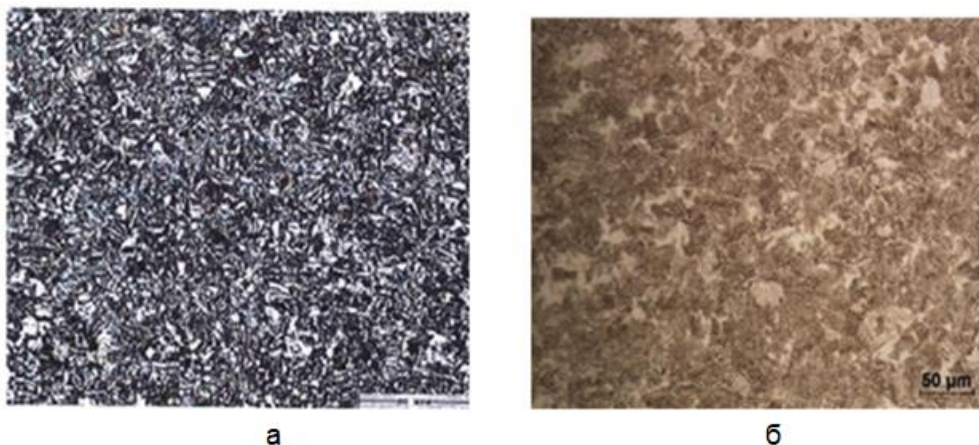


Рис. 2. Вид микроструктуры образцов проката из стали марки 42CrMo4 диаметром 18 (а – $\times 1000$) и 22 мм (б – $\times 1000$)

Опытно-промышленное производство колесных болтов

Производство опытных партий колесных болтов M16 \times 125, M16 \times 135, M22 \times 85 включало в себя следующие технологические операции:

- отжиг горячекатаного проката;
- подготовка поверхности проката;
- изготовление калиброванного проката;
- штамповка заготовок болтов;
- накатка резьбы;
- термообработка крепежных изделий.

Отжиг горячекатаного проката проводился в колпаковых печах EBNER. Целью термообработки являлось формирование благоприятной для последующего деформирования микроструктуры стали с максимально возможным содержанием зернистого перлита.

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.

Штамповка болтов производилась на многопозиционных холодновысадочных автоматах и включала в себя следующие переходы:

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

На окончательной операции производилась накатка резьбы и специального рифления на стержне болта.

Опытные образцы болтов были термообработаны в закалочно-отпускном агрегате фирмы Kohnle. Полученные результаты подтвердили достижение требуемого уровня механических свойств по классам прочности 10.9 и 12.9. На рис. 3, 4 представлены ре-

зультаты исследования микроструктуры и качества поверхности образца болта из стали 36MnB4.

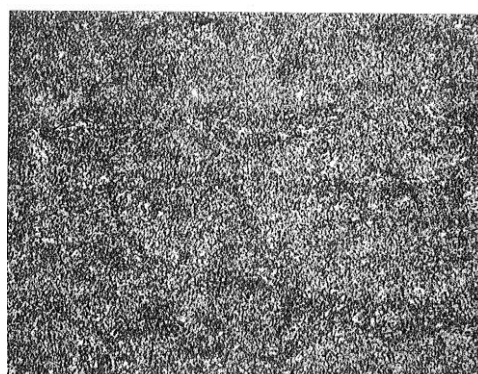


Рис. 3. Микроструктура образца болта из стали 36MnB4; сорбит отпуска, $\times 1000$

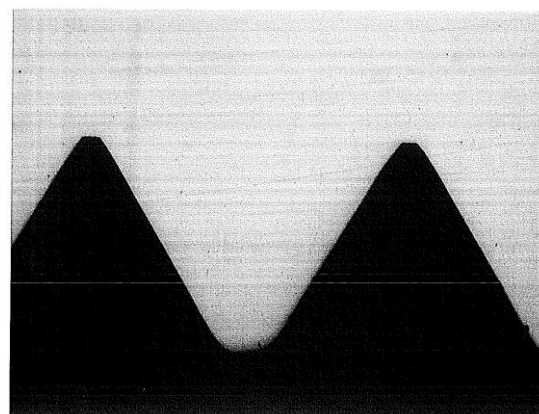


Рис. 4. Вид профиля зуба образца болта из стали 36MnB4, оптическая микроскопия, $\times 50$

При анализе полученных данных был сделан вывод о необходимости формирования свойств болтов не только при помощи термической обработки, но и с помощью пластической деформации. Предложено изготавливать болты с накаткой резьбы после проведения термической обработки (закалка и отпуск).

Проведено компьютерное моделирование процесса накатки резьбы в программном комплексе QForm. В результате 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. Кроме того, в процессе накатки происходит вытягивание зерен в основании резьбы. Совокупность факторов затрудняет механизм образования трещин и позволяет повысить предел усталости.

В рамках дальнейших работ запланировано изготовление опытных партий болтов М22×85 из сталей 40ХН2МА и 36МnВ4, их термическая обработка и проведение накатки резьбы на закаленных образцах.

Выполненные исследования металлопроката из специальных легированных сталей 32CrВ4, 42CrMo4, 36МnВ4 подтверждают возможность производства высокопрочных крепежных изделий. Полученные результаты могут использоваться для промышленного производства автомобильного крепежа, востребованного на российском рынке.

Выводы

В рамках комплексной программы по обеспечению высокопрочными крепежными изделиями ПАО «Камаз» проводилось освоение технологии изготовления колесных болтов в условиях ОАО «ММК-Метиз». В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Установлена возможность получения сфероидизированной ферритно-перлитной структуры металлопроката из сталей марок 32CrВ4, 42CrMo4, 36МnВ4.

2. Получение бейнитной структуры горячекатаного проката стали ускоряет процесс сфероидизации перлита, что приводит к получению относительного сужения отожженного проката не менее 70 % и обеспечению штампуемости.

3. Формирование свойств болтов необходимо осуществлять не только при помощи термической обработки, но и с помощью пластической деформации. Предложено изготавливать болты с накаткой резьбы после проведения термической обработки (закалка и отпуск).

Список литературы

1. Филиппов А. А., Пачурин Г. В. Ресурсосберегающая подготовка стального проката к холодной высадке крепежных изделий // Международный жур-

нал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 8 (часть 4). С. 23-29.

- Исследование закономерностей эволюции структурного состояния и свойств стали марки 42CrMo4 в процессе производства высокопрочных крепежных изделий / Канаев Д.П., Тагирова В.М., Соколов А.А., Зайцева М.В., Зайцев А.И., Колдаев А.В., Степанов А.Б., Арутюнян Н.А. // Механическое оборудование металлургических заводов. 2022. № 1(18). С. 18-36.
- Effect of composition, structural state, and manufacturing technology on service properties of high-strength Low-carbon steel main bimetal layer / A.I. Zaitsev, I.G. Rodionova, A.A. Pavlov, N.G. Shaposhnikov // Metallurgist. 2015. Vol. 59. No. 7-8. P. 684–692.
- Влияние режима температурно-деформационной обработки специальных легированных сталей на структурное состояние и свойства проката / А.В. Колдаев, А.В. Амежнов, А.И. Зайцев, А.Б. Степанов // Металлург. 2017. №10. С. 30-34.
- Столяров А.Ю., Соколов А.А. «ММК-МЕТИЗ» – новые технологические решения и развитие производства // Металлургическое оборудование механических заводов. 2022. № 1(18). С. 4-10.
- Колдаев А. В., Степанов А. Б., Зайцев А. И. Исследование закономерностей формирования структуры специальных легированных сталей для производства высокопрочных крепежных изделий методом холодной объемной штамповки // Проблемы черной металлургии и материаловедения. 2021. № 3. С. 47-54.
- O'Brien J.M., Hosford W.F. Spheroidization cycles for medium carbon steels // Metallurgical and Materials Transactions A. 33, 1255-1261 (2002). doi:10.1007/s11661-002-0226-y.
- Гуль Ю.П., Соболенко М.А., Ивченко А.В. Комплексная интенсификация сфероидизирующего отжига низкоуглеродистых сталей для холодной высадки // Сталь. 2012. № 6. С. 44-47.
- Говоров В. А., Лавриненко В. Ю. Инновационная технология изготовления высокопрочных крепежных деталей из двухфазных сталей с учетом деформационного упрочнения // Инновационные технологии реновации в машиностроении: сб. тр. Международной научно-технической конференции / под общ. ред. В. Ю. Лавриненко. М.: Московский государственный областной университет, 2019. С. 163-165.
- Зайцев А.И., Колдаев А.В., Степанов А.Б. Влияние состава и режима термообработки на структурное состояние, способность к холодной осадке круглого проката из специальных легированных сталей // Металлург. 2017. № 7. С. 66-71.

Сведения об авторах

Пивоварова Ксения Григорьевна – профессор кафедры технологий обработки материалов, доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: k.pivovarova@magtu.ru

Тагирова Венера Марсовна – ведущий специалист технологического центра ОАО «Магнитогорский метизно-калибровочный завод «ММК-Метиз», Магнитогорск, Россия; аспирант гр. ММСа-23-1, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия.

Новикова Татьяна Анатольевна – начальник лаборатории механических испытаний ЦКП ОАО «Магнитогорский метизно-калибровочный завод «ММК-Метиз», Магнитогорск, Россия; магистрант гр. ММИТм-22-1, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия.

Гун Игорь Геннадьевич – профессор, доктор технических наук, директор АО НПО «БелМаг», Магнитогорск, Россия. E-mail: tssa@mail.ru.

Рамазанов Камиль Нуруллаевич – заведующий кафедрой технологии машиностроения, доктор технических наук, ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий», Уфа, Россия. E-mail: kaftm@ugatu.su.

Федосеев Сергей Анатольевич – профессор, доктор технических наук, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

TECHNOLOGICAL ASPECTS OF THE PRODUCTION OF HIGH-STRENGTH WHEEL BOLTS FROM SPECIAL ALLOY STEELS

Pivovarova Kseniya G. – DrSc (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. Email: k.pivovarova@magtu.ru.

Tagirova Venera M. – Leading specialist OJSC «Magnitogorsk hardware and sizing plant «ММК-METIZ», Magnitogorsk, Russia; graduate student gr. MMSa-23-1 Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

Novikova Tatiana A. – Head of the Laboratory of Mechanical Tests OJSC «Magnitogorsk hardware and sizing plant «ММК-METIZ», Magnitogorsk, Russia; master's student gr. MMITm-22-1 Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

Gun Igor G. – DrSc (Eng.), Professor, Magnitogorsk, Russia. E-mail: tssa@mail.ru.

Ramazanov Kamil N. – DrSc (Eng.), Ufa, Russia. E-mail: kaftm@ugatu.su.

Fedoseev Sergey A. – DrSc (Eng.), Professor, Perm, Russia.

Abstract. The production of fasteners from special alloy steels is an urgent need for Russian automotive companies. ММК-METIZ has implemented a comprehensive program for the production of high-strength fasteners using cold die forging (CDD) methods. The goal of the work is to develop a technology for the production of high-strength automotive fasteners from low-alloy steel grades 32CrB4, 36MnB4, 42CrMo4. When conducting the study, methods of light and scanning electron microscopy were used. The formation and evolution of the structural state of hot-rolled steel during the process of spheroidizing annealing was studied using industrial samples of round steel. During laboratory analysis, the possibility of obtaining a spheroidized ferrite-pearlite structure of rolled metal was established. The results of the study were implemented in the production of pilot batches of wheel bolts M16x125, M16x135, M22x85. The tests carried out confirmed the achievement of the required level of mechanical properties for strength classes 10.9 and 12.9. When analyzing the data obtained, it was concluded that it is necessary to form the properties of bolts not only through heat treatment, but also through plastic deformation. It is proposed to produce bolts with thread rolling after heat treatment. The results obtained can be used for the industrial production of automotive fasteners, which are in demand on the Russian market.

Keywords: 32CrB4 steel, 36MnB4 steel, 42CrMo4 steel, round bars, spheroidizing annealing, microstructure, globular pearlite, quenching and tempering, high-strength fasteners.

Ссылка на статью:

Технологические аспекты производства высокопрочных колёсных болтов из специальных легированных сталей / К.Г. Пивоварова, В.М. Тагирова, Т.А. Новикова, И.Г. Гун, К.Н. Рамазанов, С.А. Федосеев // Теория и технология металлургического производства. 2023. №3(46). С. 30-34. Pivovarova K.G., Tagirova V.M., Novikova T.A., Gun I.G., Ramazanov K.N., Fedoseev S.A. Technological aspects of the production of high-strength wheel bolts from special alloy steels. *Teoria i tehnologia metallurgiceskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2023, vol. 46, no. 3, pp. 30-34.