УДК 621.77:669.14.018.27

УПРОЧНЯЮЩАЯ ОБРАБОТКА ПРОКАТА ДЛЯ КРЕПЕЖА С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ ЕГО СТОИМОСТИ

Филиппов А.А., Пачурин Г.В., Кузьмин Н.А.

ФГБОУ ВПО Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Нижний Новгород, Россия, email: PachurinGV@mail.ru, http://www.famous-scientists.ru/1238

В современных технических конструкциях широко применяются резьбовые детали крепёжного назначения, которые подвергаются закалке с отпуском — упрочнённый стальной крепёж. Значительная часть из них выполняется в виде длинномерных деталей типа болтов, шпилек, стремянок и т.п. Развитие производства упрочнённого крепежа в условиях рыночной экономики, требующего обеспечения конкурентоспособности выпускаемой продукции, наряду с повышением конструкционной прочности и эксплуатационной надёжности, предполагает снижение затрат по всей производственной цепочке, начиная от получения проката, и заканчивая изготовлением готовых деталей требуемого качества. Одним из приоритетных направлений в решении этой задачи является снижение стоимости производимого крепежа, во-первых, за счёт рационализации технологии упрочняющей обработки крепежа, а во-вторых, за счет минимизации стоимости стали (относительно боросодержащих сталей). В плане минимизации стоимости стали наиболее предпочтительной оказалась сталь 40X. Авторами разработана оптимальная ресурсосберегающая схема термомеханической подготовки проката для изготовления упрочненных длинномерных болтов. Предлагаемое техническое решение не исключает полностью термического упрочнения, которое остаётся как предварительная термическая обработка — патентирование, упрочняющий эффект которого усиливается в результате последующего окончательного волючения.

Ключевые слова: сталь 40X, прокат, степень упрочнение, закалка, отпуск, патентирование, структура, механические свойства

HARDENING TREATMENT HIRE FOR FASTENERS TO REDUCE ITS VALUE Filippov A.A., Pachurin G.V., Kuzmin N.A.

FGBOU VPO Nizhny Novgorod State Technical University R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia, email: PachurinGV@mail.ru, http://www.famous-scientists.ru/1238

In modern technical designs are widely used threaded fasteners destination that undergo quenching and tempering - hardened steel fasteners. A considerable part of them performed in the form of long parts such as bolts, studs, ladders, etc. Development of production hardened fasteners in a market economy, requires ensuring the competitiveness of products, along with increased structural strength and robustness, involves reducing the cost of the entire production chain, from the receipt of hire and ending with finished parts required quality. One of the priorities in solving this problem is to reduce the cost of fasteners produced, first, by streamlining technology hardening treatment fixture, and secondly, by minimizing the cost of steel (with respect to boron steel). In terms of minimizing the cost of steel was the preferred steel 40X. The authors have developed an optimal resource-hire scheme thermomechanical training for manufacturing of long hardened bolts. The proposed solution does not completely eliminate thermal bonding, which remains as a pre-heat treatment - patenting, reinforcing the effect of which is enhanced by subsequent final drawing.

Keywords: steel 40Cr, rent, power hardening, quenching, tempering, patenting, structure, mechanical properties

Введение

Обработка металлов методом пластической деформации имеет за собой многовековой путь развития. В средние века начинает развиваться технология получения проволоки методом волочения, что объясняется появлением в то время потребности в сравнительно больших количествах проволоки для развивающегося производства оружия, кольчуг, а также часов, украшений и т.д. Волочение толстой железной проволоки производилось посредством водяного колеса, клещей и металлической доски (волоки). К началу 19 века началось изготовление стержневых метизных изделий из калиброванного проката, полученного методом пластической деформации.

В современных технических конструкциях широко применяются резьбовые дета-

ли крепёжного назначения, которые подвергаются закалке с отпуском — упрочнённый стальной крепёж. Значительная часть из них выполняется в виде длинномерных деталей типа болтов, шпилек, стремянок и т.п. Детали получают из сортового проката применением различных технологических операций холодного деформирования — волочения, высадки, накатки резьбы.

Развитие производства упрочнённого крепежа в условиях рыночной экономики, требующего обеспечения конкурентоспособности выпускаемой продукции, наряду с повышением конструкционной прочности и эксплуатационной надёжности, предполагает снижение затрат по всей производственной цепочке, начиная от получения проката, и заканчивая изготовлением готовых деталей требуемого качества [1-3]. Особенное значение приобретает этот фактор в

производстве крепежа, предназначенного для массового потребления, в частности, в автостроении.

Производство отечественного автомобильного крепежа сформировалось ещё в период плановой экономики СССР, и основной его объём приходился вначале на завод «Красная Этна» (г. Нижний Новгород), а впоследствии (с появлением «АвтоВАЗа») завод «Автонормаль» (г. Белебей). Эти же предприятия были основными поставщиками крепежа классом прочности $8.8~(\sigma_{_{\rm B}}=800~{\rm M}\Pi a~u~{\rm выше}). Определенный вклад в развитие высокопрочного крепежа внесли сотрудники данных предприятий и ученые институтов: Быкадоров А.Т., Бунатян Г.В., Лавриненко Ю.А., Скуднов В.А., Хейфец И.Л. и другие.$

Для изготовления крепежа данного класса прочности с применением холодной высадки традиционно используют среднеуглеродистые стали марок 35, 35X, 38XA, 40X. В качестве альтернативы этим маркам получили значительное распространение борсодержащие стали 20Г2Р и 30Г1Р. Преимуществом данных сталей является более высокая технологичность в холодной объёмной штамповке, благодаря пониженному содержанию углерода. Микролегирование стали бором предполагает повышение восприимчивости её к закалке (прокаливаемость), и тем самым компенсируется уменьшение прокаливаемости от снижения содержания углерода.

Однако реализация этого влияния бора на практике вызывает проблемы, связанные с трудно контролируемым поведением этого элемента в стали из-за его высокой склонности к образованию оксидов и нитридов бора. Фактически повышению прокаливаемости способствует только та часть присутствующего в стали бора, которая находится в твёрдом растворе с железом. При этом образование заметного количества оксидов и нитридов бора ведет к снижению прокаливаемости. Данная особенность борсодержащей стали приводит к нестабильности упрочнения закалкой деталей, а предпринимаемые в производстве технологические меры, направленные на стабилизацию прокаливаемости, к его удорожанию.

Фактически стоимость горячекатаного проката борсодержащей стали, как правило, на 12-15% выше стоимости заменяемой стали марки 40X, а необходимость у отечественных производителей использовать импортные поставки 20Г2Р и 30Г1Р приводит к ещё большему удорожанию производимого крепежа.

Характерно, что в зарубежной промышленности производство высокопрочных

крепежных изделий (класс прочности 8.8 и выше) составляет 90-95% от общего объема изготавливаемого крепежа, тогда как в РФ этот показатель не превышает 18%.

С конца 90-х годов прошлого столетия наблюдается тенденция к его сокращению из-за увеличения объемов поступлений готового крепежа из ускоренно развивающихся стран (Китай, Тайвань и др.).

Низкая доля применения упрочнённого крепежа представляется негативным технико-экономическим показателем как промышленности, производящей эту продукцию, так и промышленности, производящей конструкции, которая применяет данный крепёж. Для первой — это неоправданное повышение материалоёмкости производства деталей. Для второй — нерациональное завышение веса конструкций и, соответственно, ухудшение их эксплуатационных качеств. В обоих случаях применение не упрочненного крепежа негативно отражается на конкурентоспособности выпускаемой продукции.

Решение существующей проблемы расширения производства упрочнённого крепежа представляет собой актуальную задачу для отечественной промышленности, охватывающей различные отрасли.

Методика проведения экспериментов

Одним из приоритетных направлений в решении этой задачи является снижение стоимости производимого крепежа [4-6], во-первых, за счёт рационализации технологии упрочняющей обработки крепежа, а во-вторых, за счет минимизации стоимости стали (относительно боросодержащих сталей).

Рационализацию упрочняющей обработки авторы связывают с максимальным использованием упрочнения, возникающим при холодном пластическом деформировании металла, применяемом в процессе изготовления готовых длинномерных деталей крепёжного назначения. Причём предполагается достижение такого же уровня упрочнения, который достигается закалкой и отпуском готовых деталей, что позволит исключить их из производственного цикла изготовления крепежа.

Для изготовления образцов был выделен моток г/к проката стали 40Х. Моток делили на части, из которых изготавливались серии образцов с различным структурным и деформированным состоянием. Исследованию подвергались образцы двух типов:

І тип — недеформированные образцы г/к проката, находящиеся в разных структурных состояниях, соответствующих технологическому процессу изготовления проката: 1) с формой пластинчатого перлита, характерной для г/к проката, поставляемого с металлургических заводов; 2) с разной формой перлита (зернистого и пластинчатого перлита), характерной для процессов отжига г/к проката в камерных газовых печах отжига (металла).

II тип — образцы проката, подвергнутые волочению с деформацией 5-60% до и после патентирования. Половина образцов проката после волочения подвергалась патентированию, другая половина образцов после патентирования - волочению.

Температура при патентировании и степень обжатия при волочении варьировались в зависимости от задачи исследования. Важным фактором, формирующим окончательную микроструктуру, является гомогенность аустенита.

Исходя из этого, температура нагрева перед патентированием принималась 880° С. Образцы проката подвергались нагреву в соляной ванне (78% BaCL + 22% NaCL) в течение 5 мин. Затем образцы переносились в селитровую ванну (50% NaNO3 + 50% KNO3) и осуществлялась операция патентирования при температурах 370, 400, 425, 450, 500 и 550° С с выдержкой 5 мин. Далее охлаждение образцов проводилось на воздухе в течение двух минут, затем они охлаждались в воде. Точность регулирования температуры в ванне при патентировании составляла $\pm 5^{\circ}$ С.

Волочение проката осуществлялось на однократном волочильном стане с обжатиями 5, 10, 20, 30, 40 и 60%. Прочностные ($\sigma_{_{\rm B}}, \sigma_{_{0,2}}$) и пластические (Ψ, δ) характеристики, твердость стали изучались по двум вариантам. Вариант 1: Волочение с деформацией 5, 10, 20, 30, 40 и 60% и последующее патентирование при температурах 370, 400, 425, 450, 500 и 550°С. Вариант 2: Патентирование при температурах 370, 400, 425, 450, 500 и 550°С и последующее волочение с деформацией 5, 10, 20, 30, 40 и 60%.

Математическое планирование экспериментов и статистический анализ их результатов проводились в соответствии с рекомендациями ГОСТ 23026-78. На каждую экспериментальную точку обрабатывалось одновременно по 8 образцов для металлографических и механических исследований и твердости. Коэффициент вариации параметров экспериментальных данных не превышал 0,021.

Изучение микроструктуры проводили на оптическом микроскопе NEOPHOT при увеличениях х200-600. Наблюдение изменения микроструктуры протравленной поверхности образца осуществлялось после технологических операций обработки проката. Фотографирование изломов болтов проводилось с помощью оптического компаратора МИР-12 с увеличением х7.

Идентификация химического состава стали осуществлялась на спектроанализаторе Belec-kompakt Lab. Величина обезуглероженного слоя определялась на микроскопе «МИМ-6» при увеличении х100. Использовались поперечные микрошлифы.

Для оценки прочностных и пластических характеристик проводились следующие виды испытаний:

- на растяжение с определением $\sigma_{_{\rm B}}, \sigma_{_{0.2}}$ Ψ, δ в соответствии с ГОСТ 1497-84 на машине ЦДМ-100, шкала 20 кг. Испытывались образцы длиной 300 мм, полученные данные усреднялись;
- твердость измерялась на приборе Роквелл, шкала C, на параллельных шлифованных лысках. Полученные данные усреднялись. Твердость HRC по переводной шкале переводилась в твердость HB;
- натурные испытания болтов с определением величины разрывной нагрузки производились на машине МУП-50. Изучался вид излома болтов с помощью оптического компаратора МИР-12 и фотографирования (увеличение х7);
- осадка проводилась на одном образце из исследуемой партии. Испытания на осадку производили согласно ГОСТ 10702-78 осаживанием на 50 и 66 % от первоначальной высоты образца.

Результаты исследований и их обсуждение

На основании анализа результатов экспериментов [7,8] разработана оптимальная ресурсосберегающая схема термомеханической подготовки проката для изготовления упрочненных длинномерных болтов (патент на изобретение №2380432) [9].

В работе получены требуемые механические характеристики проката и болтовых изделий из стали 40X без дальнейшей их закалки и отпуска.

Предлагаемая технологическая схема подготовки проката:

- 1) отжиг г/к проката: температура нагрева 770°С, выдержка 3 ч, охлаждение до температуры 700°С, выдержка 3 ч, охлаждение с печью;
- 2) подготовка поверхности проката к волочению:
- 3) волочение с деформацией 15% (с диаметра 13,0 мм на 11,95 мм);
- $\overline{4}$) нагрев проката при температуре 880°C , патентирование при температуре 400°C

Выдержкой 5 мин, охлаждение на воздухе;

- 5) подготовка поверхности проката с фосфатированием;
- 6) окончательное волочение с обжатием 5% (с диаметра 11,95 мм на 11,65 мм);
- 7) формообразование упрочненных длинномерных болтов (М12х110 мм).

Сопоставление результатов механических испытаний проката, подготовленного для высадки болтов по действующей и предложенной схемам показало [10], что изготовление крепежа из проката по действующей технологии в результате закалки в длинномерных изделиях могут возникать деформации, трещины и обезуглероживание поверхности, что снижает качество болтов и повышает их отбраковку.

Испытания упрочненных длинномерных болтов М12х110 и М10х95 с низкой обрезной головой, выполненных по предложенной технологии из проката методом холодной объемной штамповки показали. что характер излома болтов со структурой «сорбит патентирования» волокнистый. Анализ микрорельефа излома выявил наличие матовой шероховатой поверхности с признаками пластической деформации (утяжки). Волокнистый излом по классификации энергетического разрушения относится по характеру разрушения к вязкому виду разрушения. Это значит, что болты с данной структурой обладают высокой работой разрушения.

Упрочненные длинномерные болты M12x110 и M10x95 с короткой обрезной головой, изготовленные из проката с микроструктурой «сорбита патентирования» и упрочненные пластической деформацией в процессе редуцирования и накатки резьбы обладают комплексом прочностных и пластических характеристик, соответствующих классу прочности 9.8 крепежа согласно ГОСТ Р 52643-2006.

Данное решение подкреплено накопленным опытом современной технической промышленности, свидетельствующим о возможности при рациональном использовании пластического упрочнения отказаться в ряде случаев от традиционного термического упрочнения готовых деталей.

Наиболее характерный пример – изготовление высоко нагруженных стальных деталей пружинного назначения. Тем самым не только существенно снижаются трудовые, материальные и энергетические затраты в производстве, но и достигается улучшение качества производимых деталей по определённым показателям. Последнее вызвано рядом негативных явлений, которые сопутствуют традиционному термическому упрочнению. Прежде всего, это проявляется в короблении длинномерных болтов при закалке, а также повреждений поверхности, связанных с воздействием рабочей среды (газовая атмосфера или закалочные ванны) при нагреве под закалку.

Негативные проявления термического упрочнения в полной мере относятся к рассматриваемым в настоящей работе — длинномерным болтам.

Следует заметить, что предлагаемое техническое решение не исключает полностью термического упрочнения, которое остаётся как предварительная термическая обработка — патентирование, упрочняющий эффект которого усиливается в результате последующего окончательного волочения.

В плане минимизации стоимости стали наиболее предпочтительной представляется сталь 40Х. Данная марка стали стандартизована (ГОСТ 4543), она традиционно имеет наибольшее распространение для упрочняемых крепёжных изделий и зарекомендовала себя легко осваиваемой метизным производством любой степени массовости. И, наконец, соответствующее содержание углерода, и легирование хромом (достаточно экономное) упрощает реализацию предлагаемого технического решения во всех его технологических компонентах.

Выволы

Таким образом, предлагаемая технологическая схема подготовки проката стали

40Х для получения упрочненных длинномерных болтов является ресурсосберегающей, так как исключаются операции закалки и отпуска изделий. Затраты по закалке и отпуску готовых метизов составляют более 9,5% себестоимости, т.е. это позволяет снизить трудо- и энергозатраты.

Отсутствие закалки и отпуска длинномерных изделий позволяет избежать обезуглероживания поверхности, коробления и трещин и, как следствие, повышает их качество, исключает операцию отбраковки и рихтовки.

Предлагаемая технологическая схема термомеханической подготовки проката является также экологически предпочтительней, так как отсутствие закалки и отпуска позволяет исключить из производственного процесса газовые (электрические) проходные печи или селитровые ванны. Это обеспечит снижение выбросов отработанных газов в атмосферу и снизит использование солей в производстве.

Рецензенты: 1. Панов Алексей Юрьевич, д.т.н., профессор.

Молев Юрий Игоревич, д.т.н., профессор.

Список литературы

- 1. Пачурин Г.В., Филиппов А.А., Иняев В.А. Подготовка качественного калиброванного проката под холодную высадку ответственных крепежных изделий // Тяжелое машиностроение. 2008. № 7. С. 24-26.
- 2. Пачурин Г.В., Филиппов А.А. Разработка конкурентоспособных технологий подготовки хромистых сталей под холодную высадку выскопрочных крепежных изделий // Заготовительные производства в машиностроении. 2008. № 10 С. 28-32.
- 3. Pachurin V.G., Phillipov A. A., Pachurin G.V. Preparation of hot-rolled rolling for the strengthened bolts made of the steel 40X // Modern scientific research and their practical application. VolJ11203. February 2012. p. 63-68. 4 Downloaded from SWorld. Terms of Use http://www.sworld.com.ua/index.php/ru/e-journal/about-journal/terms-of-use.
- 4. Пачурин Г.В., Филиппов А.А. Экономичная технология подготовки стали 40Х к холодной высадке крепежных изделий // Вестник машиностроения. 2008. № 7. С. 53-56.
- 5. Pachurin G.V., Filippov A.A. Economical preparation of 40X steel for cold upsetting of bolts // Russian Engineering Research. 2008. T. 28. № 7. C. 670-673.
- 6. Филиппов А.А., Пачурин Г.В. Оптимизация режимов подготовки хромистых сталей под холодную высадку метизов // Ремонт, восстановление, модернизация, 2008, № 5. С. 11-17.
- 7. Pachurin G.V., Filippov A.A. Rational reduction of hotrolled 40X steel before cold upsetting // Steel in Translation. 2008. T. 38. N2 7. C. 522-524.
- 8. Пачурин В.Г., Филиппов А.А., Пачурин Г.В. Формирование структуры хромистых сталей под высадку болтов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2011. № 9. С. 55-59.
- 9. Филиппов А.А., Пачурин Г.В. Патент на изобретение «Способ обработки горячекатаного проката под высадку болтов», Патент RU 2380432 C1 C21D 8/06. 2008151317/02; Заявл. 23.12.2008; Опубл. 27.01.2010. Бюл. № 3.
- 10. Филиппов А.А., Пачурин Г.В. Сравнение технологических вариантов подготовки хромистых сталей под холодную высадку // Успехи современного естествознания. 2007. №8. С. 94-96.