УДК 621.77:669.14.018.27

РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ПОДГОТОВКА СТАЛЬНОГО ПРОКАТА К ХОЛОДНОЙ ВЫСАДКЕ КРЕПЕЖНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Филиппов А.А., Пачурин Г.В.

ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», Нижний Новгород, e-mail: PachurinGV@mail.ru

Безопасность конструкции во многом определяется эксплуатационной надежностью элементов ее составляющих. К числу ответственных и широко распространенных в машиностроении деталей относится крепеж, изготавливаемый из углеродистой, высокоуглеродистой и легированной проволоки. В процессе изготовления деталей большинство металлов и сплавов подвергаются различным видам и режимам технологической обработки. Наиболее распространенным и прогрессивным способом получения метизных изделий является метод холодной высадки из калиброванного проката. Надежность деталей машин и механизмов наряду с конструктивными факторами определяется структурой и свойствами используемых материалов, которые в значительной мере зависят от вида и режима их технологической обработки. В работе на основе анализа факторов качества при подготовке проката стали 40Х к холодной высадки метизных изделий выполнено формирование структурно-механических свойств, установлено их оптимальное сочетание с целью изготовления из него длинномерных упрочненных болтов. Разработана рациональная технологическая схема подготовки проката стали 40Х диаметром 9,65 и 11,7 мм для получения упрочненных длинномерных болтов с низкой обрезной головкой, соответствующих классу прочности 9.8, исключающая операции закалки и отпуска изделий.

Ключевые слова: прокат, сталь 40Х, волочение, степень деформации упрочнение, закалка, отпуск, патентирование, дефекты, структура, механические свойства

RESOURCE TRAINING TO ROLLED STEEL COLD HEADING FIXING PRODUCTS

Filippov A.A., Pachurin G.V.

Nizhny Novgorod State Technical University. RE Alekseev Nizhny, Novgorod, e-mail: PachurinGV@mail.ru

Security design is largely determined by the operational reliability of its component elements. Among the critical and widespread in mechanical parts include fasteners made of carbon, carbon and alloy wire. In the manufacturing process of parts most metals and alloys are exposed to various kinds and modes of processing. The most common way to get progressive and hardware products is the method of cold heading calibrated hire. Reliability of machine parts and mechanisms, along with structural factors determine the structure and properties of the materials used, which are largely dependent on the type and mode of their processing. In this paper, based on analysis of quality factors in the preparation of rolled steel cold heading to 40X hardware products fulfilled the formation of structural and mechanical properties, set an optimal mix for the manufacture of a lengthy hardened bolts. Flowsheet developed rational training rolled steel 40X diameter of 9.65 mm and 11.7 for lengthy hardened bolts with low cut head, corresponding to the strength class 9.8 , excluding quenching and tempering operations products.

Keywords: rolling, steel 40X, drawing, degree of deformation hardening, quenching, tempering, patenting, defects, structure, mechanical properties

Одной из важнейших задач развития современного машиностроительного крепежа является улучшение качества металлопродукции и изготавливаемых из нее деталей, повышение их работоспособности, надежности, доведение этих показателей до уровня мировых стандартов, обеспечение конкурентоспособности отечественной продукции на внутреннем и внешнем рынке при соблюдении требований ресурсосбережения и разработке технологических процессов [9].

Безопасность конструкции во многом определяется эксплуатационной надежностью элементов ее составляющих [6,7]. К числу ответственных и широко распространенных в машиностроении деталей относится крепеж, изготавливаемый из углеродистой, высокоуглеродистой и легированной проволоки.

Их надежность наряду с конструктивными факторами определяется структурой и свойствами используемых материалов, которые в значительной мере зависят от вида и режима их технологической обработки [5,8,10]. В процессе изготовления изделий большинство металлов и сплавов подвергаются различным видам и режимам технологической обработки. Наиболее распространенным и прогрессивным способом получения метизных изделий является метод холодной высадки из калиброванного проката [2].

За рубежом крепежные изделия повышенной прочности (класс прочности 8.8 и выше) составляют 90-95 % от общего объема производства, в то время как в РФ доля крепежа повышенной прочности составляет до 20 % от общего выпуска. Поэтому расширение производства и применение

крепежных изделий повышенной прочности является актуальной задачей отечественной промышленности.

Требования к изготовлению упрочненных длинномерных болтов должны соответствовать классу прочности 8.8 и выше по ГОСТ Р 52627-2006 (ИСО 3977-9:1999) «Болты, винты и шпильки. Механические свойства и методы испытаний», то есть метизные изделия должны изготавливаться с закалкой и последующей отпуском для создания необходимых механических свойств.

В настоящей работе получены требуемые механические свойства, соответствующие классу прочности 9.8 крепежа, на готовых изделиях из стали 40Х без дальнейшей их закалки и отпуска. Целью настоящей работы явилось решение актуальной научно-технической задачи получения упрочненных длинномерных болтов из конструкционной легированной стали 40Х на основе изучения влияния режимов термической (патентирования и изотермической закалки) и пластической (волочением) обработки на структурное состояние и механические свойства проката перед холодной высадкой.

Практически 60% крепежа классов прочности 9.8 – 12.9 изготавливают из стали марки 40Х. Основным способом получения упрочненного крепежа является высадка из калиброванного проката после волочения, имеющего микроструктуру зернистый перлит. После высадки его подвергают объемной закалке в охлаждающей жидкости и термическому отпуску. После закалки на крепеже могут образовываться микротрещины и обезуглероженный слой. Если вопрос подготовки калиброванного проката для холодной высадки с микроструктурой 80-100% зернистого перлита изучен достаточно глубоко, то из-за роста сопротивления пластической деформации использованию проката, имеющего в структуре стали пластинчатый и сорбитообразный перлит уделяется недостаточное внимание.

Общим недостатком при термической обработки проката в действующих технологиях является локальная неоднородность механических свойств, наблюдающаяся на соседних участках проката небольшой протяженности и по всей длине мотка. Кроме того, в результате закалки в длинномерных изделиях могут возникать нежелательные деформации и трещины, что значительно снижает качество изделий и повышает их отбраковку [1].

Требует исследования вопрос получения упрочненных длинномерных болтов из калиброванного проката с механическими свойствами, отвечающими требованиям ГОСТ Р 52627-2006, без последующей их термической обработки. Поэтому получение уровня упрочнения на готовых метизных изделиях, соответствующему классу прочности 8.8 и выше без термического улучшения, позволит исключить закалку и отпуск из производственного цикла их изготовления. Этим существенно достигается улучшение качества по определенным показателям: устранение коробления поверхности длинномерных болтов и обезуглероженного слоя, возникающих при объемной закалке.

Однако вопрос о комплексном влиянии волочения с различными степенями обжатия на структуру, прочностные и пластические свойства, твердость проката после волочения при патентировании и изотермической закалке в литературе освещен недостаточно, поэтому требует более детального изучения.

Материалы и методы исследования

Для изготовления образцов был выделен моток горячекатаного проката стали 40Х. Химический состав стали 40Х соответствовал ГОСТ 10702-78 «Сталь качественная конструкционная углеродистая и легированная для холодного выдавливания и высадки». Моток делился на части, из которых изготавливались серии образцов с различным структурным и деформированным состоянием.

Исследованию подвергались образцы двух типов:

I тип – недеформированные образцы горячекатаного проката из стали 40Х, находящиеся в разных структурных состояниях, соответствующих технологическому процессу изготовления проката:

1) с формой пластинчатого перлита, характерной для горячекатаного проката, поставляемого с металлургических заводов;

2) с разной формой перлита (зернистого перлита и пластинчатого перлита), характерной для процессов отжига проката.

II тип – образцы проката стали марки 40Х, подвергнутые волочению со степенями обжатия 5-60% до и после патентирования и изотермической закалки на структуру сорбитообразного перлита и троостита.

Все полученные образцы проката горячекатаного и после волочения подвергались термообработке, параметры которой варьировались в зависимости от задачи исследования. Для получения структуры сорбитообразного перлита и троостита образцы калиброванного проката подвергались нагреву в хлоробариевой ванне до температуры 880°С, затем образцы переносились в селитровую ванну и осуществлялась изотермическая обработка. Охлаждение проводили на воздухе. Окончательно охлаждение образцов осуществлялось в воде.

Поскольку образцы имели значительный размер (диаметр 9-12 мм), то не удавалось переохладить достаточно быстро до температур изотермической выдержки в селитровой ванне и поэтому $\gamma \rightarrow \alpha$ – превращение развивалось в интервале более высоких температур (630–480°С), чем температура ванны. Аустенит в данном интервале температур распался на

квазиэвтектоидную смесь тонкопластинчатого строения, которую назвали сорбитом патентирования. По главному классификационному признаку – типу фазовых превращений – термическая операция патентирования относится к отжигу 2-го рода, являясь одной из разновидностей изотермических обработок. На основании вышеизложенного, термическую операцию обработки проката в интервале температур селитровой ванны 400-550 °С назвали патентированием.

Низкая температура ванны (370 ºС и ниже) может способствовать образованию твердой и хрупкой структуре верхнего бейнита. Поэтому признаку термическую операцию изотермического превращения аустенита при температуре 370ºС определили как изотермическую закалку.

Патентирование и изотермическая закалка проката после волочения проводились по режиму: температура аустенизации – 880 ºС, охлаждение при температурах 370, 400, 425, 450, 500 и 550 ºС с выдержкой пять минут, охлаждение на воздухе в течение двух минут, окончательное охлаждение в воде. Состав хлобариевой ванны: 78 %$BaCl_2$ + 22 %NaCl, состав селитровой ванны: 50 %$NaNO_3$ и 50 %KNO_3. Точность регулирования температуры при изотермической обработке составила ±5 ºС.

Волочение проката проводилось со степенями обжатия 5, 10, 20, 30, 40 и 60 % на однократном стане ВС / 1-700 на каждом технологическом переделе.

Математическое планирование экспериментов и статистический анализ их результатов проводились в соответствии с рекомендациями ГОСТ 23026-78. На каждую экспериментальную точку обрабатывалось одновременно по 10 образцов для металлографических, механических исследований и определения твердости.

При исследовании образцов использовались следующие методы: металлографический, механические испытания на растяжение, твердость, натурные испытания болтов с определением величины разрывной нагрузки, идентификация химического состава стали, определение величины обезуглероженного слоя, визуальная оценка качества поверхности и испытания на осадку. Прочностные ($\sigma_в$, $\sigma_{0,2}$) и пластические (Ψ, δ) свойства, твердость проката горячекатаного и после волочения исследовались по двум вариантам.

Вариант 1: Волочение металлопроката со степенями обжатия 5, 10, 20, 30, 40 и 60 % с последующим патентированием при температуре 400, 425, 450, 500 и 550 °С и изотермической закалкой при температуре 370 °С.

Вариант 2: Патентирование 400, 425, 450, 500 и 550 °С и последующее волочение со степенями обжатия 5, 10, 20, 30, 40 и 60 %; изотермическая закалка при 370°С и последующее волочение со степенями обжатия 5, 10, 20, 30, 40 и 60 %.

Результаты исследований и их обсуждение

Образцы горячекатаного проката выдержали испытания осадкой до 1/2 первоначальной высоты, как этого требует ГОСТ 10702-78. В структуре проката отсутствовала полосчатость и структурно-свободный цементит на границах зерен в виде скоплений или сетки. Кроме того, микроструктура не имела грубопластинчатого перлита и видманштетовой структуры. Поэтому при прочих положительных условиях подготовки проката к холодной объемной штамповки можно ожидать на высаженных упрочненных длинномерных болтах отсутствие трещин. Микроструктура горячекатаного проката стали 40Х в состоянии поставки представляет собой – «перлит сорбитообразный + феррит» виде разорванной сетки по границам перлитных зерен. Анализ механических свойств проката показывает, что с увеличением степени обжатия при его волочении увеличиваются прочностные свойства и снижаются пластические свойства. Это можно объяснить тем, что холодная пластическая деформация в прокате с микроструктурой «перлит + феррит» происходит за счет сдвигов мелких и пластичных кристаллитов.

Известно, что устойчивость аустенита, характеризуемая длительностью периода до начала распада, называемого инкубационным, а также временем полного превращения аустенита, меняется с изменением температуры изотермического превращения, и в координатах «температура – время» кривые изотермического превращения имеют С-образную форму [3]. Предварительно был подготовлен расчет кривой охлаждения исследуемой стали 40Х в селитровой ванне с заданной температурой при времени выдержки прутка в течение 5-ти минут. Построенные по этим данным кривые охлаждения совместили с С-кривыми изотермического превращения аустенита стали 40Х исследуемого химического состава. Выяснилось, что реальное превращение аустенита (при выдержке проката стали 40Х в селитровой ванне с температурой 400-550оС) происходило в температурном интервале сорбитного превращения 480-630ºС. Продукты превращения аустенита, получающиеся в результате изотермического превращения при различных температурах в селитровой ванне, показывают, что в районе температур 630 °С÷420 °С получаются структуры эвтектоидного типа, тем более дисперсионные, чем ниже температура превращения. Время пребывания проката в селитровой ванне было несколько большим времени окончания сорбитного превращения. При изотермической выдержке (патентировании) в селитровой ванне с температурой 40 °С, получалась структура пластинчатого сорбита (сорбита патентирования), что подтверждается и значением твердости проката, равным 262 НВ. Снижение температуры селитровой ванны, с одной стороны, увеличивает разность свободных энергий аустенита и феррита, что ускоряет превращение, а, с другой стороны, вызывает уменьшения скорости изменения диффузии углерода.

На рис. 1 показаны микроструктуры стали 40Х после изотермической выдержки (патентирования) при температурах селитровой ванны 400, 425, 450 и 550 °С.

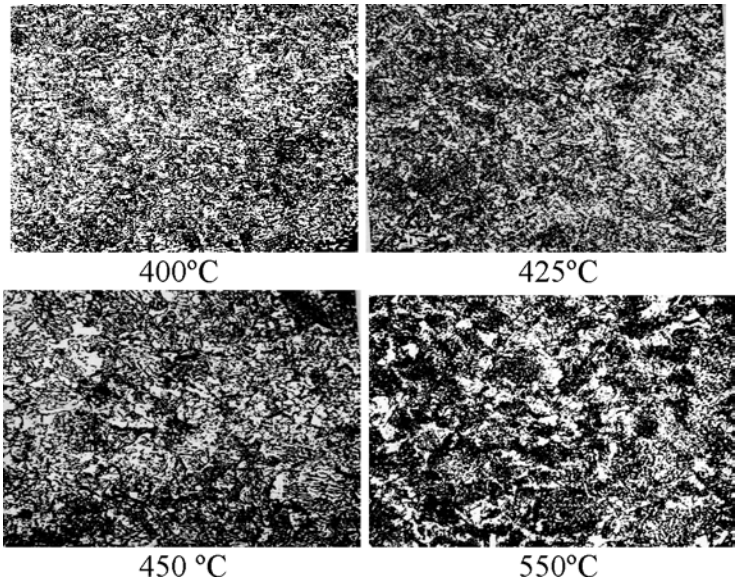

Рис. 1. Микроструктура проката «сорбит патентирования» в интервале температур 400, 425, 450 и 550°С. х500

Хотя структура при всех температурах называется «сорбит патентирования», но твердость уменьшается с повышением температуры, так как дисперсность тем выше, чем ниже температура патентирования, то есть температурный интервал превращения аустенита.

После волочения и последующего патентирования при температуре 500 °С прокат стали 40Х имеет структуру сорбита с включением мартенсита и показан на рис. 2.

Рис. 2. Микроструктура «сорбит с участками мартенсита» (х500)

Мартенсит образовался из аустенита при изотермическом охлаждении проката стали 40Х при температуре селитровой ванны 500 °С. Важнейшей особенностью мартенситного превращения – его незавершенность: реакция при постоянной температуре останавливается, прежде чем охватить весь объем сплава, и возобновляется лишь при понижении температуры [4]. Для завершения превращения аустенита, согласно данным С-кривых изотермического превращения аустенита стали 40Х исследуемого химического состава, при 500 °С требуется около 5,5 минут. Наличие мартенсита в структуре проката стали 40Х, который изотермически выдерживался при температуре 500 °С, обусловлено неполным превращением аустенита при выдержке в течение 5 минут, в результате чего оставшаяся часть аустенита превращается в мартенсит при дальнейшем охлаждении на воздухе. На этом этапе исследования авторы получили данные, которые позволяют говорить, что выявленная микроструктура, полученная при температуре 500°С, не пригодна к дальнейшему деформированию проката стали 40Х из-за наличия в ней включений твердого и хрупкого мартенсита. Определение доли мартенсита в структуре сорбита и его влияния на пластические и прочностные характеристики проката – это цель дальнейших исследований.

Анализ экспериментальных данных показывает, что с увеличением степени обжатия проката стали 40Х при волочении от 5 до 60 % и последующей изотермической обработки (патентирование) при температуре 500 °С прочностные свойства изменяются неоднозначно и показаны на рис. 3.

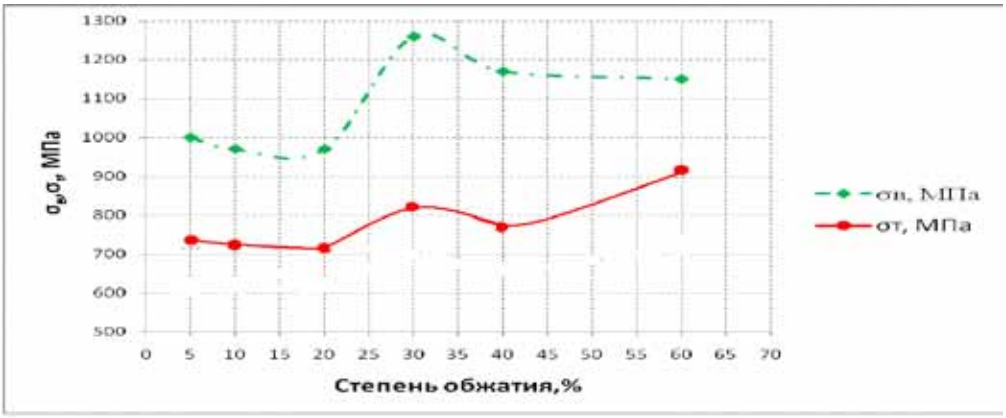

Рис. 3. Зависимость $\sigma_в$ и $\sigma_{0,2}$ от степени обжатия при 500 °С

Выявлено, что $\sigma_{0,2}$ при обжатиях от 5 до 20% снижается с 720 до 710 МПа, при степенях обжатия от 20 до 30% увеличивается с 710 до 820 МПа. Степень обжатия от 30 до 40% приводит к снижению предела текучести с 820 до 780 МПа. Дальнейший рост $\sigma_{0,2}$ начинается при обжатиях от 40 до 60% и возрастает с 780 до 910 МПа.

Временное сопротивление разрыву при обжатиях от 5 до 20% снижается с 1000 МПа до 980 МПа. При изменении обжатия от 20 до 30% – возрастает с 980 до 1250 МПа. При увеличении обжатия от 30 до 60% происходит монотонное снижение временного сопротивления разрыву с 1250 до 1140 МПа.

Изменение пластических свойств проката со степенями обжатия при волочении от 5 до 60% стали 40Х и последующем патентировании при температуре 500°С показано на рис. 4.

Рис. 4. Зависимость δ, % и ψ, % от степени обжатия при 500 °С

Относительное удлинение при степенях обжатия от 5 до 20% увеличивается с 15 до 17%, а при степенях обжатия 20 до 30% резко снижается с 17 до 10%. При дальнейших обжатиях от 30 до 60% оно остается постоянным на уровне 10%.

Относительное сужение при обжатиях от 5 до 20% монотонно увеличивается с 37 до 46%. При степенях обжатия от 20 до 30% резко снижается с 46 до 23%, а при обжатиях от 30 до 40% вновь увеличивается и достигает 27%. При дальнейшем увеличении обжатия от 40 до 60% величина ψ незначительно снижается с 27 до 25%.

Технологическая операция, при который прокат изотермически охлаждали при температуре ванны 500°С и деформировали с обжатиями 30, 40, 60 %, приводила к полной потере его пластичности и разрушению в процессе волочения, вследствие образования внутренних трещин, как показано на рис. 5. В процессе растяжения создавались благоприятные условия для роста трещин в направлении, перпендикулярном действию растягивающих сил.

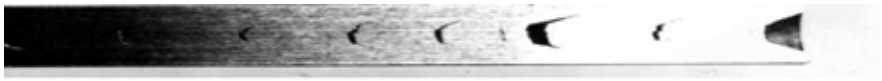

Рис. 5. Разрушение образца после патентирования при температуре 500°С и волочения с обжатиями 30, 40, 60%

Микроструктура «сорбит с включениями мартенсита» является неоднородной. Неоднородность структуры, наличие твердого и хрупкого мартенсита привели к неоднородности деформации по сечению проката, появлению трещин.

В настоящей работе после волочения и изотермической обработки (патентирование) при температуре селитровой ванны 400°С получены требуемые механические свойства проката, которые соответствуют ГОСТ 10702-78. После окончательного волочения и холодной высадки длинномерных болтов из предложенного проката получили изделия, которые соответствуют классу прочности 9.8, не требующие объемной закалки и отпуска. По данной технологии получен патент на изобретение №2380432 [12].

Сущность предложенного технологического процесса заключается в следующем.

1. Заготовка: горячекатаный прокат диметром 13,0 мм с отклонениями от геометрических параметров согласно ГОСТ 2590-88 обычной точности прокатки «В»;

2. Отжиг горячекатаного проката по режиму: температура нагрева 780°С, выдержка в течение 3-часов, охлаждение до температуры 700°С, выдержка в течение 3-х часов, охлаждение с печью;

3. Подготовка поверхности металла к волочению;

4. Предварительное волочение со степенью обжатия 15% (с диаметра 13,0 на 11,95 мм);

5. Патентирование проката по режиму: температура нагрева 8800С, охлаждение в селитровой ванне при температуре 4000С с выдержкой в течение 5-ти минут, охлаждение на воздухе в течение 1 минуты, окончательное охлаждение в воде;

6. Подготовка поверхности металла с фосфатированием;

7. Волочение на окончательный размер со степенью обжатия 5% (с диаметра 11,95 мм на 11,65 мм);

8. Высадка упрочненных длинномерных высокопрочных болтов (М12х110 мм).

В табл. 1 показаны результаты механических испытаний калиброванного проката, подготовленного для высадки длинномерных болтов по действующей (вариант 1) и предложенной (вариант 2) технологиям.

По предложенной технологии из калиброванного проката методом холодной высадки изготовлены длинномерные болты М12х110 и М10х95 с короткой обрезной головой и проведено их испытание на разрыв. Испытания болтов М12х110 и М10х95 проводились в одинаковых условиях и соответствовали ГОСТ Р 52627-2006. Результаты испытания болтов представлены в табл. 2.

Таблица 1

Сравнение механических характеристик проката, выполненного по разным вариантам

Диаметр проката после окончательного волочения, мм	Вариант подготовки	Механические свойства				Твердость, HRC
		$\sigma_в$,	$\sigma_{0,2}$	δ	Ψ	
		МПа		%		
Ø 9,65	1	815	695	13	57	24
Ø 9,65	2	950	830	13	54	28
Ø 10,7	1	805	690	14	56	23
Ø 10,7	2	940	825	12,5	55	28
Ø 9,65; Ø 10,7	ГОСТ 10702-78	Не менее 690	Не регламентируется	Не менее 5	Не менее 40	Факультативная

Таблица 2

Результаты испытаний болтов из стали 40Х на разрыв

Параметры болта	Количество исследованных болтов, шт.	$\sigma_в$ МПа	Вид излома
Болт М10х95	15	1050	Волокнистый
Болт М12х110	15	1020	Волокнистый

Болты, изготовленные из проката стали 40Х, имели волокнистый излом. Макростроение излома отражает характер действующих напряжений, степень нагрузки, расположение и характер очага разрушения. Длинномерные болты М12х110 и М10х95 с короткой обрезной головой, изготовленные из проката со структурой «сорбита патентирования» и упрочненные поверхностной пластической деформацией в процессе редуцирования и накатки резьбы, обладают высоким комплексом прочностных и пластических свойств, соответствующих классу прочности 9.8 крепежа согласно ГОСТ Р 52627-2006.

Следует отметить, что термомеханическая подготовка проката является ресурсосберегающей, так как исключаются операции закалки и отпуска готовых изделий. Отсутствие закалки и отпуска длинномерных изделий позволяет избежать коробления и трещин и, как следствие, повышает качество болтов, исключает операции отбраковки и рихтовки, опасность возникновения дефектов резьбы и снижается себестоимость изготовления длинномерных болтов. Кроме того, предлагаемая технологическая схема подготовки проката является экологичной, так как отсутствие закалки и отпуска позволяет исключить из производственного процесса газовые (электрические) проходные закалочные печи.

Данная работа направлена на подъем интереса к экологичному производству высокопрочного крепежа с наименьшими ресурсо- и энергозатратами для различных отраслей машиностроения: автомобильной промышленности, судостроения, химической и нефтяной промышленности, в которых проблемы повышения прочности, надежности элементов конструкции и повышение ресурса являются основными.

Выводы

Установлено, что наилучшее сочетание механических характеристик после патентирования стали 40Х (высокая прочность и незначительное сопротивление пластической деформации) достигается при степенях обжатия 5-20%.

Патентирование при температурах 400 и 425°С проката стали 40Х, подвергнутого деформации волочением со степенями обжатия 5 и 10%, обеспечивает повышение прочностных и пластических характеристик и может быть рекомендовано для подготовки проката для получения упрочненных длинномерных стальных болтов без закалки и отпуска. Это приводит к снижению трудовых, материальных и энергетических затрат в производстве, а также улучшению качества метизных изделий.

Разработана и предложена рациональная технологическая схема подготовки проката стали 40Х диаметром 9,65 и 11,7 мм для холодной объемной штамповки упрочненных длинномерных болтов с низкой обрезной головкой, соответствующих классу прочности 9.8, без их закалки и отпуска. Она заменяет сфероидизирующий отжиг на изотермическую операцию – патентирование, что позволяет снизить энергозатраты, повысить экологичность производства и эксплуатационную надежность болтовых изделий без опасности возникновения дефектов резьбы и необходимости их рихтовки. Это позволяет сократить технологическую цепочку и снизить себестоимость изготовления болтов. Разработанная технология подготовки проката для изготовления упрочненных длинномерных болтов защищена патентом на изобретение №2380432.

Однако предлагаемое техническое решение не исключает полностью термическое упрочнение, которое остается как предварительная термическая обработка – патентирование, упрочняющий эффект которого усиливается в результате последующего окончательного волочения.

Список литератьуры

1. Гуляев, А.И. Металловедение / А.И. Гуляев. – М.: Металлургия, 1977. 646с.

2. Дубровский, Б.А. Эффективные конструкции и технологии производства крепежных изделий на ООО «МММЗ» / Б.А. Дубровский, А.В. Титов, В.В. Веремеенко, В.Л. Трахтенгерц, В.И. Артюхов, А.А. Соколов, О.С. Железков // Сборник научных трудов «Фазовые и структурные превращения в сталях». 2006. Выпуск №3. С.546-560.

3. Конторович, И.Е. Термическая обработка стали и чугунов: учебное пособие для ВУЗов / И.Е. Конторович. – М.: Металлургиздат, 1950. 663 с.

4. Окишев К.Ю. Теория и моделирование кинетики фазовых превращений и структура фаз в сплавах железа: Автореф. дисс. докт. физ.-мат. наук. – Челябинск, 2013. 42с.

5. Пачурин Г.В. Эффект пластической обработки сталей и их сварных соединений // Коррозия: материалы, защита. 2003. №3. С. 6-9.

6. Пачурин Г.В. Долговечность штампованных конструкционных материалов на воздухе и в коррозионной среде // Заготовительные производства в машиностроении. 2003. №10. С. 21-27.

7. Пачурин Г.В. Долговечность на воздухе и в коррозионной среде деформированных сталей // Технология металлов. 2004. № 12. С. 29-35.

8. Пачурин Г.В. Повышение коррозионной долговечности и эксплуатационной надежности изделий из деформационно-упрочненных металлических материалов. – Н. Новгород: НГТУ, 2005. 132 с.

9. Пачурин Г.В., Филиппов А.А. Экологичная подготовка поверхности проката под высадку крепежных изделий // European journal of xperimental education. 2008. № 3. С. 65-67.

10. Пачурин Г.В. Долговечность пластически деформированных коррозионно-стойких сталей // Вестник машиностроения. 2012. № 7. С. 65-68.

11. Филиппов А.А., Пачурин Г.В. Сравнение технологических вариантов подготовки хромистых сталей под холодную высадку // Метизы. 2010. № 01(22). С. 54-55.

12. 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.