

УДК 621.77:669.14.018.27

ЭФФЕКТ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ВОЛОЧЕНИИ И ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СТАЛЬНОГО ПРОКАТА

Пачурин Г.В., Филиппов А.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, изготовленные из калиброванного проката, полученного методом пластической деформации. Они подвергаются закалке с отпуском – упрочнённый стальной крепёж. Значительная часть из них выполняется в виде длинномерных болтов, шпилек и стремянок. Их получают из сортового проката с применением различных технологических операций холодного деформирования – волочения, высадки, накатки резьбы, с последующей термической обработкой. В работе проведен литературный обзор влияния степени пластической деформации при волочении стального горячекатаного проката и режимов термической обработки на его макро- и микроструктурное состояние, пластические и прочностные характеристики. Недостатком термически обработанного проката в действующих технологиях является локальная неоднородность механических свойств на соседних участках проката, как небольшой протяженности, так и по всей длине мотка. Поэтому требует исследования вопрос получения длинномерных болтов, упрочненных до класса прочности 9.8, из калиброванного проката с прочностными и пластическими характеристиками, отвечающими требованиям стандартов, без последующей их закалки и отпуска.

Ключевые слова: сортовой прокат, пластическая деформация, болтовые изделия, термообработка, макроструктура, микроструктура, пластичность, механические свойства

EFFECT OF PLASTIC DEFORMATION DURING DRAWING AND HEAT TREATMENT ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF ROLLED STEEL

Pachurin G.V., Filippov A.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 appointment made from calibrated hire obtained by plastic deformation. They are subjected to quenching and tempering - hardened steel fasteners. A considerable part of them performed in the form of long bolts, studs and scaffolding. They are produced from rolled bar with various technological operations cold deformation - drawing, heading, thread rolling, followed by heat treatment. We have made a literary review of the impact degree of plastic deformation at drawing hot-rolled steel and heat treatment on its macro-and microstructural condition, plastic and strength characteristics. The disadvantage of the heat-treated rolled into existing technologies is the local heterogeneity of the mechanical properties in neighboring areas rolled like a small extent, and the entire length of the skein. Therefore requires a study of long bolts matter of getting hardened to strength class 9.8 of calibrated rolled strength and plastic characteristics that meet the requirements of standards, without subsequent quenching and tempering.

Keywords: rolled, plastic deformation, the bolt products, heat treatment, macrostructure, microstructure, ductility, mechanical properties

Введение

Обработка металлов методом пластической деформации имеет за собой многовековую путь развития. В современных технических конструкциях широко применяются резьбовые детали крепёжного назначения, изготовленные из калиброванного проката, полученного методом пластической деформации.

Они подвергаются закалке с отпуском – упрочнённый стальной крепёж. Значительная часть из них выполняется в виде длинномерных болтов, шпилек и стремянок. Их получают из сортового проката с применением различных технологических операций холодного деформирования – волочения, высадки, накатки резьбы.

1. Влияние степени деформации на свойства проката

В ряде исследований процесса волочения [4,13,19,37] уточнялись условия пластического течения металла при деформации в различных условиях. Показано, что пластическая деформация при волочении в холодном состоянии вызывает повышение сопротивления деформации, причем повышение тем значительнее, чем больше степень обжатия при волочении [24].

Известно [2], что слишком высокая температура проката при волочении в инструменте волочильного стана приводит к развитию процессов старения, вызывающих снижение пластических характеристик, возникновению температурных напряже-

ний в нем, образованию участков мартенсита на поверхности проволоки, снижению стойкости инструмента, окислению смазки и повышению коэффициента трения при волочении и, как следствие, возникновению неблагоприятных условий для процесса деформации и для качества конечного продукта – калиброванного проката.

Калиброванный прокат, используемый для холодной высадки болтов, после всех технологических переработок не должен относиться к категории материалов, которые трудно деформируются. К трудно деформируемому металлу относятся стали, обладающие повышенным сопротивлением деформации, что определяет повышенные грузки на обрабатывающий и давящий инструмент [8,17]. В процессе деформирования горячекатаного и калиброванного проката, происходят изменения структуры разных уровней [31-33,35,36,46,47], сопровождаемые, в частности, формированием дефектности, которая на макроуровне проявляется в снижении плотности, а на субмикроразмерном – в увеличении искажений кристаллической решетки [20,21].

Волочение является основным видом деформации при подготовке проката к объемной штамповке. Калиброванный прокат получает неоднородное деформационное упрочнение и наклеп при его течении в конечной матрице в процессе волочения [9]. В результате холодной деформации прочностные характеристики калиброванного проката с ростом степени обжатия повышаются (упрочнение и наклеп), а пластические характеристики уменьшаются [22].

При степенях обжатия более 30% прокат упрочняется в процессе волочения практически одинаково (или равномерно) по всему поперечному сечению протянутого прутка, что показано в работе [28] путем определения твердости в меридиональной плоскости шлифов.

При назначении небольших обжатий (от 5 до 15%) проката уменьшается работа и мощность пластической деформации, однако заготовки болтов имеют низкую изгибную жесткость. Поэтому целесообразно назначать степени обжатия проката вблизи предельного значения, когда обеспечиваются повышенные механические характеристики калиброванного проката и получа-

емых из него стержневых деформируемых заготовок при их высокой изгибной жесткости [10].

Возможная степень обжатия проката зависит от пластических характеристик, которые во многом определяются его микроструктурой. Наилучшие свойства достигаются при однородной мелкоглобулярной микроструктуре с равномерным распределением цементита в феррите [34]. В стали с зернистым перлитом размеры глобулярных частиц цементита не изменяются даже после больших степеней обжатия, и пластическая деформация в основном за счет феррита [26]. Это, по мнению авторов [12], не вызывает распада цементита и, следовательно, проявление дефектности в виде охрупчивания и упрочнения, связанной с холодной пластической деформацией и переходом части атомов углерода в атмосферы на дислокациях [38].

По данным [29] относительное обжатие при волочении должно быть не менее 28-30%, а по некоторым данным не менее 35% [3]. Авторы [42] определяли степень обжатия при волочении q (%) как отношение $100(d_0^2 - d_k^2)/d_0^2$, где d_0 и d_k - начальный и конечный диаметр образца. Авторы [42] изучили и построили экспериментальные кривые зависимости механических свойств от степени предварительной деформации при волочении, которые представлены на рис.1.5.

По мнению авторов [40,43] наилучшее сочетание механических характеристик (высокая пластичность и незначительное сопротивление пластической деформации) достигается при обжатии 5%. С увеличением обжатия до 10% наблюдается интенсивный рост предела текучести и резкое снижение относительного удлинения. При обжатии 15% значительно возрастает предел прочности, а относительное удлинение продолжает уменьшаться. Дальнейшее увеличение обжатия до 60% вызывает непрерывный рост предела текучести и предела прочности, относительное удлинение медленно снижается, а относительное сужение находится на высоком уровне (60-58%) до обжатия 25%, а после чего падает двумя ступенями в интервалах обжатия 25-35% и 40-60%.

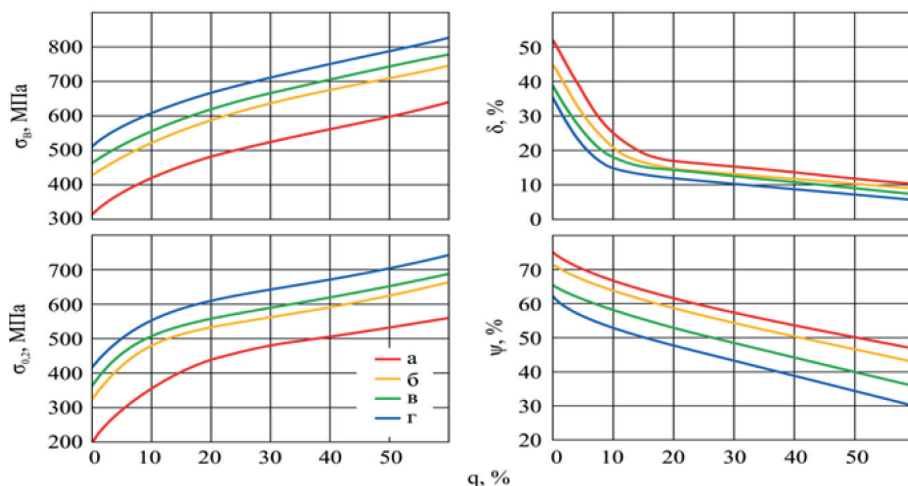


Рис. 1. Механические свойства сталей при растяжении в зависимости от степени обжатия при волочении *q*: а - сталь 10кп; б – сталь 30; в, з – стали 40Х, 45

Согласно [16], пластические характеристики проволоки со структурой зернистого перлита в процессе волочения непрерывно снижаются и при $\epsilon > 40\%$ становятся ниже пластических характеристик проволоки, которая подвергалась термической операции патентирования. При этом нужно учитывать, что величина суммарной деформации (волочение + все переходы) при ХОШ на автоматах достигает 85% [7,9, 23].

Авторы [23,39] считают, что для холодной высадки крепежных изделий одинаково нежелательно применение твердого (более НВ 290) и мягкого (менее НВ 160) калиброванного проката. При изготовлении болтов из проката высокой твердости резко возрастают удельные усилия на инструмент, снижается его стойкость, появляются трещины на металле, ухудшается заполнение полости матрицы при ХОШ на прессах. При высадке болтовых изделий из «мягкого» проката ухудшается стойкость заготовки длинномерного болта, деформирование происходит неравномерно и металл быстро «налипает» на инструмент.

Анализ литературных данных [23,39,41,42] позволяет рекомендовать следующие основные показатели калиброванного проката для дальнейшего изготовления из него метизов методом холодной штамповки:

1. НВ от 170 до 280;
2. $\sigma_{0,2} / \sigma_{в} = 0,6 - 0,72$ - данное соотношение зависит от химического состава;
3. $\Psi \geq 60\%$ - прокат весьма пластичен; $50\% < \Psi < 60\%$ - прокат достаточно пластичен, $\Psi < 50\%$ - прокат непригоден для изготовления болтов методом ХОШ [25].

Отношение $\sigma_{0,2} / \sigma_{в}$ в значительной мере зависит от химического состава, режимов термообработки и волочения.

Есть мнение авторов [14], что при отношении предела текучести к пределу прочности в калиброванном прокате, равное числу 0,9, наблюдается наилучшая величина такой важной эксплуатационной характеристики болтового изделия, как высокая релаксационная стойкость.

Величина относительного сужения проката считается [40,45] основным показателем при дальнейшем деформировании. Наилучшей пластичностью при холодной объемной штамповке обладает калиброванный прокат с относительным сужением 50-60%.

2. Влияние термической обработки на свойства проката

Для получения оптимальных прочностных показателей, повышения пластичности проката до величин, при которых обеспечиваются стабильная работа без перегрузок и высокая стойкость инструмента и получения требуемой структуры, применяют термическую обработку. Выбор режима термообработки определяется химическим составом и структурой обрабатываемого проката, требованиями холодной штамповки и эксплуатационными требованиями к болтовым изделиям.

Функциональное назначение термической обработки является достижение требуемых потребительских свойств калиброванного проката: служебных (проявляющихся в эксплуатации готовых болтовых изделий) и технологических, необходимых для получения изделия с минимальными затратами [11]. Термическая обработка - самый распространенный в современной технике способ изменения свойств металлов и сплавов [22,27].

Температуру нагрева и время выдержки проката следует принимать наименьшими при условии стабильного получения заданных структур и свойств. С возрастанием этих параметров различные физико-химические явления на поверхности раздела проката и атмосферы, в том числе окисление, обезуглероживание, насыщение водородом, отрицательно отражающие на процессе последующей пластической деформации и снижающие качество болтовых изделий, проходят интенсивнее. Атмосфера или среда, в которой происходит термообработка, не должны взаимодействовать с прокатом, а в случае взаимодействия (например, окисления) его характер должен сочетаться с принятым циклом обработки, требованиям к болтам. Термообработка делится на предварительную, промежуточную (между операциями волочения для снятия наклепа) и окончательную (для получения заданных механических характеристик и структуры проката).

Горячекатаный прокат без дополнительной термообработки имеет неоднородную структуру, прочностные и пластические характеристики его нестабильны. Прокат после горячей прокатки (на металлургическом заводе) имеет заметные следы упрочнения. Применение проката без дополнительной термической обработки при волочении и высадке болтов приводит к повышению удельных нагрузок на 15-20%, а это значительно ограничивает возможности изготовления из него длинномерных болтов. Обычно для сложных по форме болтов практикуется проводить термообработку калиброванного проката с целью получения необходимой пластичности и снижения удельных усилий. Предварительная термообработка горячекатаного проката может проводиться на металлургических заводах, производящих его, или метизных предприятиях, занимающихся изготовлением крепежа методом холодной высадки. Наибольшее снижение удельных усилий при высадке достигается при получении крупнозернистой структуры. Однако пластичность с увеличением размера зерна уменьшается. При отжиге после волочения в области критических степеней деформации у низкоуглеродистых сталей происходит интенсивный рост зерна в поверхностном слое.

Применение индукционного нагрева калиброванного проката из низкоуглеродистых и микролегированных бором сталей позволяет получать комплекс свойств, соответствующих термоупрочненным легированным сталям, что невозможно при печном нагреве и обеспечивать высокую точность поддержания температурного режима, а,

следовательно, однородную микроструктуру и оптимальные механические свойства [5].

Термическая обработка, осуществляемая после холодной деформации, не всегда приводит к полному устранению дефектов структуры. При значительных степенях деформации возможно возникновение энергетически устойчивых дефектов структуры стали, не залечивающихся при восстановительном отжиге [1, 6].

Обезуглероживание при нагреве происходит в результате взаимодействия окисляющих газов с углеродом, который находится в виде твердого раствора или карбида железа Fe_3C . Скорость обезуглероживания определяется главным образом процессом двусторонней диффузии, происходящей под воздействием разности концентраций сред. С одной стороны, обезуглероживающие газы диффундируют к поверхностному слою стали, а с другой – образующиеся газообразные продукты движутся в обратном направлении. Помимо этого, углерод из внутренних слоев металла, перемещается в поверхностный слой [18]. Обезуглероживание и окалинообразование существенно снижают механические свойства в поверхностных слоях проката, а это приводит к срыву резьбы при механических испытаниях болтовых изделий. Остаточная окалина из-за недостаточного качества удаления приводит к быстрому износу инструмента, снижению блеска и увеличению шероховатости поверхности проволоки [15].

В качестве термической обработки при изготовлении холодотянутой проволоки применяют изотермическую обработку, которая получила название патентирования. Научные основы патентирования были разработаны С.С. Штейнбергом и его сотрудниками. Данный вид термической обработки заключается в нагреве стали выше As на 100-250°C, переохлаждении аустенита до температуры 400-600°C в селитровой ванне и последующее охлаждение на воздухе. Эти операции могут осуществляться при непрерывном прохождении калиброванного проката через нагревательную печь и ванну с расплавом соли. В результате проведения операции патентирования, структура проката представляет собой однородную смесь высокодисперсного цементита в форме пластинок (стали). После патентирования и последующего волочения калиброванный прокат имеет высокую прочность при достаточном уровне пластичности [30]. На метизных предприятиях находят распространение способ обработки проката в псевдосжиженном слое, который целесообразно применять для стали с содержанием

углерода 0,4-0,85%, когда необходимо получить равномерную структуру топопластинчатого перлита (сорбита).

Выводы

Так как основной причиной образования дефектов на стержневых болтовых изделиях является технологическая переработка проката по всей технологической цепочке, то необходимо использовать для производства крепежных изделий прокат, который способен выдерживать деформации до 75% без разрушения его поверхности и тела.

Основным способом получения высокопрочных болтов является высадка из калиброванного проката, имеющего микроструктуру зернистый перлит. Затем болты подвергают закалке и отпуску. Закалка стержневых изделий может способствовать образованию микротрещин и обезуглероженного слоя. Если вопрос подготовки проката для холодной высадки с микроструктурой 80-100% зернистого перлита изучен достаточно глубоко, то использованию проката, имеющего в структуре стали сорбит патентирования, из-за роста сопротивления пластической деформации уделяется недостаточное внимание.

Общим недостатком термически обработанного проката в действующих технологиях является локальная неоднородность механических свойств, наблюдающаяся на соседних участках проката небольшой протяженности и по всей длине мотка. Поэтому требует исследования вопрос получения длинномерных болтов, упрочненных до класса прочности 9.8, из калиброванного проката с прочностными и пластическими характеристиками, отвечающими требованиям ГОСТ 1759.04-87 «Болты, винты и гайки. Технические условия», без последующей их закалки и отпуска.

Вопрос о комплексном влиянии степени обжатия на прочностные и пластические характеристики, твердость проката до и после его патентирования в литературе освещен недостаточно, поэтому требует более детального изучения.

Рецензенты: 1. Лоскутов Алексей Борисович, д.т.н., профессор.

2. Кузьмин Николай Александрович, д.т.н., профессор.

Список литературы

1. Амиров М.Г. Состояние развития процессов холодной объемной штамповки // Кузнечно-штамповочное производство. 1987. №11. С. 19-21.
2. Анджело Зинути, Джанкарло Саро. Волочение проволоки на станах // Метизы 2(03) 2003. С.41-47.
3. Башин Ю.А. и др. Технология термической обработки. - М.: Металлургия, 1986. - 164 с.

4. Белалов Х.Н., Савельев Е.В. Анализ процесса волочения стальной проволоки, Труды третьего конгресса прокатчиков, Москва 2000. С.533-540.

5. Бобылев М.В., Гринберг В.Е., Закиров Д.М., Лавриненко Ю.А. Подготовка структуры при термообработке сталей, применяемых для высадки высокопрочных крепежных изделий // Сталь. 1996. №11. С.54-60.

6. Богатов А.А., Межирицкий О.И., Смирнов С.В. Ресурс пластичности металлов при обработке давлением. - М.: Металлургия, 1984. - 143с.

7. Большаков В.И., Долженков И.Е., Долженков В.И. Технология термической и комбинированной обработки металлопродукции. - Днепропетровск: Gaudeamus, 2002.-152 с.

8. Бунатян Г.В., Скуднов В.А., Хыбемяги А.И. Холодное выдавливание деталей формующей технологической оснасткой. - М.: Машиностроение, 1998. - 182 с.

9. Владимиров Ю.В., Герасимов В.Я. Технологические основы холодной высадки стержневых крепежных изделий. - М.: Машиностроение, 1984. - 120 с.

10. Герасимов В.Я., Парышев Д.Н. Оценка стабильности операций штамповки по величине прогиба заготовок // Вестник машиностроения. 2004. №10. С. 50-51.

11. Глинер Р.Е. Технологические свойства металлов: учеб. пособие для подготовки магистров / НГТУ им. Р.Е. Алексеева. - Нижний Новгород, 2009. - 191с.

12. Гриднев В.Н., Гаврилюк В.Г., Прокопенко В.Г., Разумов О.Н. Влияние легирующих элементов на распад цементита при пластической деформации // ДАН СССР. 1977. №4. С. 857-860.

13. Губкин С.И. Пластическая деформация металлов, Т.3. - М.: ГНТИ по черной и цветной металлургии, 1970. - 306 с.

14. Гуль Ю.П. Теоретические и технологические основы термомеханикотермической обработки / Металлургия и коксохимия: Респ. межвед.-техн. сб. Киев, «Техніка», 1987, вып. 92. С.7-13.

15. Дзиро Томигана, Кинья Вахимото, Тошимичи Мори, Масаки Мураками, Такафуми Йошимура Производство катанки с высокой способностью к удалению окалины // Метизы. 2008. № 2(18). С.32-42.

16. Зубов В.Я., Чупракова Н.В., Барышникова Н.Н. Влияние формы цементита на изменение тонкой структуры и свойств стальной проволоки при волочении // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 1971. №6. С.120-123.

17. Колмогоров В.Л., Богатов А.А., Мигачев Б.А. и др. Пластичность и разрушение. - М.: Металлургия, 1977. - 336 с.

18. Котов Е.В., Филиппов В.В., Воросков Н.В., Щербakov В.И. Влияние параметров нагрева на обезуглероживание поверхности катанки // Сталь. №10. С. 65-69.

19. Красильщиков Р.Б. Деформационный нагрев и производительность волочильного оборудования. - М.: Металлургия. 1970. - 168 с.

20. Кутяйкин В.Г. Влияние технологического передела на субструктуру и физико-механические свойства стержневых крепежных изделий // Материаловедение и металлургия; межвуз. сборник научных трудов НГТУ – Н.Новгород, 2008, Том 68. С. 90-93.

21. Кутяйкин В.Г. Металлологические и структурно-физические аспекты деформирования стали. - М.: АСМС, 2007. - 484 с.

22. Кутяйкин В.Г. Металлологические и структурно-физические аспекты деформирования сталей: монография. - М.: АСМС, 2007. - 484 с.

23. Лавриненко Ю. А. Критерий выбора материала для высокопрочных крепежных изделий // Метизы». 2008. №3(19). С.34-36.

24. Лавриненко В.Ю., Гартвиг А.А. Исследование влияния предварительной деформации металла на силу деформирования при холодной высадке крепежных деталей // *Метизы*. 2007. №3. С. 54-55.
25. Москаленко Л.И., Рыбалко В.М. Высокопрочные болты из низкоуглеродистых сталей // *Металлургия и коксохимия: Респ. межвед. науч.- техн. сб.* – Киев: Техніка, 1987, вып. 92. С. 36-39.
26. Никифоров А.Б., Королев Н.А., Кулеша В.А., Кургузов С.А. Формоизменение рисок при волочении проволоки // *Сталь*. 1988. №3. С. 67-69.
27. Новиков И.И. Теория термической обработки металлов. - М.: *Металлургия*, 1983. - 360 с.
28. Патент 2132544 РФ: Способ контроля упрочнения металла в холоднотянутой стали.
29. Парусов В.В., Прокофьев В.Н., Долженков И.И., Сорокин М.И., Марченко В.Э., Нестерова Н.П. Усовершенствование технологии игольчатой проволоки // *Сталь*. 1980. №12. С. 190-192.
30. Парусов В.В., Пирогов В.А., Павлович Ю.В. и др. Развитие способов термической обработки катанки с прокатного нагрева. - М.: *Обзорная информация / Институт «Черметинформ»*. Серия 7, выпуск 4, 1979. - С.12.
31. Пачурин Г.В. Эффект пластической обработки сталей и их сварных соединений // *Коррозия: материалы, защита*. 2003. №3. С. 6-9.
32. Пачурин Г.В. Долговечность штампованных конструкционных материалов на воздухе и в коррозионной среде // *Заготовительные производства в машиностроении*. 2003. №10. С. 21-27.
33. Пачурин Г.В. Повышение коррозионной долговечности и эксплуатационной надежности изделий из деформационно-упрочненных металлических материалов. – Н. Новгород: *НГТУ*, 2005. - 132 с.
34. Пачурин Г.В., Филиппов А.А. Экономичная технология подготовки стали 40Х к холодной высадке крепежных изделий // *Вестник машиностроения*. 2008. № 7. С.53-56.
35. Пачурин Г.В., Филиппов А.А. Выбор рациональных значений степени обжата горячекатаной стали 40Х перед холодной высадкой метизов // *Известия ВУЗов. Черная металлургия*. 2008. № 7. С. 23- 25.
36. Пачурин Г.В. Долговечность пластически деформированных коррозионно-стойких сталей // *Вестник машиностроения*. 2012. № 7. С. 65-68.
37. Перлин И.Л., Ерманок М.З. Теория волочения. - М.: *Металлургия*, 1971. - 448 с.
38. Рахштадт А.Г. Пружинные стали и сплавы. - М.: *Металлургия*, 1982. - 402 с.
39. Скуднов В.А. Предельные пластические деформации металлов / В.А. Скуднов. - М.: *Металлургия*, 1989. - 176 с.
40. Соколов А.А., Артюхин В.И. Критерии выбора материала и технологических параметров производства проволоки и изготовления из нее крепежных изделий // *Сборник научных трудов «Фазовые и структурные превращения в сталях»*. Выпуск №3. 2006. С. 483-496.
41. Соколов А.А., Артюхин В.И. Критерий выбора материала и технологических параметров процесса производства проволоки и изготовления из нее крепежных изделий / *Сборник научных трудов*. Выпуск №3. С. 45-48.
42. Хейфец И.Л., Рахманова М.П. и В.А. Скуднов В.А. Подготовка стали для холодной высадки крепежных изделий сложной формы // *Сталь*. 1980. №5. С. 413-415.
43. Хейфец И.Л., Быкадоров А.Т. Подготовка стали 35Х к холодной высадке // *Кузнечно-штамповочное производство*. 1975. №9. С. 13-14.
44. Холодная объемная штамповка. Справочник / Под ред. Г.А. Навроцкого. - М.: *Машиностроение*, 1973. - 392 с.
45. Холодная объемная штамповка / Под ред. Г.А. Навроцкого. - М.: *Машиностроение*, 1973. – 496 с.
46. Филиппов А.А., Пачурин Г.В. Температура изотермической закалки калиброванного проката из стали 40Х под холодную высадку // *Заготовительные производства в машиностроении*. 2007. №10. С. 44-46.
47. Филиппов А.А., Пачурин Г.В. Сравнение технологических вариантов подготовки хромистых сталей под холодную высадку // *Метизы*. 2010. № 01(22). С. 54-55.