

УДК 621.77:669.14.018.27

**КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТИ И СТРУКТУРНОГО СОСТОЯНИЯ ПРОКАТА
ДЛЯ МЕТИЗНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ СТАЛИ 40X****Пачурин Г.В., Филиппов А.А., Пачурин В.Г.***ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева»,
Нижний Новгород, e-mail: PachurinGV@mail.ru*

В процессе изготовления деталей машин и механизмов большинство металлов и сплавов подвергаются различным видам и режимам технологической обработки, среди которых наиболее распространены являются пластическое деформирование. В автомобильной и других отраслях промышленности широко используются резьбовые детали крепежного назначения, которые подвергаются закалке с отпуском – упрочнённый стальной крепеж. Значительная часть из них выполняется в виде длинномерных деталей типа болтов, шпилек, стремянок и т.п. При этом 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. Надёжность метизных металлоизделий наряду с конструктивными факторами в значительной мере определяется качеством поверхности и структурного состояния сортового проката для холодной высадки. В работе представлены результаты исследования качества поверхности калиброванного проката, анализа поверхностных дефектов и влияние холодной пластической деформации при волочении на структурное состояние проката из стали 40X.

Ключевые слова: горячекатаный прокат, волочение, степень обжатия, структура, поверхностные дефекты, прочностные свойства, пластические свойства

**SURFACE QUALITY AND STRUCTURAL STEEL FOR STATE OF STEEL
METAL WARES 40****Pachurin G.V., Filippov A.A., Pachurin V.G.***Nizhny Novgorod State Technical University R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod,
e-mail: PachurinGV@mail.ru*

During manufacture of machinery parts, most metals and alloys are subjected to various types and modes of processing, among which the most common is plastic deformation. In the automotive and other industries are widely used threaded parts fastening purposes, which are subjected to quenching and tempering – Hardened steel fasteners. A considerable part of them performed in the form of long parts such as bolts, studs, ladders, etc. In this case, the development of production hardened fasteners in a market economy, requires the provision of competitiveness of products, along with increased structural strength and operational reliability, cost reduction involves the entire production chain, from receipt of rental, and ending with finished parts required quality. Reliability of hardware metal along with design factors largely determined by the quality and the surface of the structural state of rolled cold heading. The paper presents the results of a study of surface quality of the calibrated hire, analysis of surface defects and the influence of cold plastic deformation during drawing on the structural state of rolled steel 40X.

Keywords: hot rolling, drawing, reduction ratio, structure, surface defects, mechanical properties, plastic properties

В процессе изготовления деталей машин и механизмов большинство металлов и сплавов подвергаются различным видам и режимам технологической обработки, среди которых наиболее распространённым является пластическое деформирование [3, 17].

В автомобильной и других отраслях промышленности широко используются резьбовые детали крепежного назначения, которые подвергаются закалке с отпуском – упрочнённый стальной крепеж [12–15]. Значительная часть из них выполняется в виде длинномерных деталей типа болтов, шпилек, стремянок и т.п [6]. При этом развитие производства упрочнённого крепежа в условиях рыночной экономики, требующего обеспечения конкурентоспособности выпускаемой продукции, наряду с повышением конструкционной прочности и экс-

плуатационной надёжности, предполагает снижение затрат по всей производственной цепочке, начиная от получения проката [5, 8], и заканчивая изготовлением готовых деталей требуемого качества [14, 15].

Надёжность метизных металлоизделий наряду с конструктивными факторами в значительной мере определяется качеством поверхности и структурного состояния сортового проката для холодной высадки [5, 16, 18].

С точки зрения выбора марки стали под крепеж наиболее предпочтительной представляется сталь 40X [4], обладающая относительно низкой стоимостью и имеющая традиционно наибольшее распространение для упрочняемых крепежных изделий любой степени массовости. Данная марка стали зарекомендовала себя легко осваиваемой метизным производством любой степени

массовости. А соответствующее содержание углерода, и достаточно экономное легирование хромом упрощает реализацию предлагаемого технического решения во всех его технологических компонентах [6, 7].

В работе представлены результаты исследования качества поверхности калиброванного проката, анализа поверхностных дефектов и влияние холодной пластической деформации при волочении на структурное состояние проката из стали 40X.

**Материалы
и методы исследования**

Исследовался горячекатаный прокат (г/к) стали 40X диаметром 11,0 и 13,0 мм. Его химический состав соответствовал ГОСТ 10702-78, а по геометрические параметры ГОСТ 2590-88 «Прокат стальной горячекатаный круглый» обычной точности прокатки «В».

Волочение проката производилось на однократном волочильном стане ВС/1-750, соответственно со степенями обжатия 5, 10, 20, 30, 40 и 60%. В качестве технологической смазки использовалась мыльная стружка.

Прочностные и пластические характеристики горячекатаного проката определялись при испытании на растяжении на разрывной машине типа ЦДМ-100. Микроструктура исследовалась под микроскопом МИМ-8 при увеличении $\times 200 \dots 600$ и на микроскопе «Неофот-21» при увеличении $\times 100 \dots 600$.

**Результаты исследования
и их обсуждение**

Поверхностные дефекты практически не оказывают влияния на результаты меха-

нических испытаний при статическом нагружении [4, 10, 11]. Однако дефекты поверхности горячекатаного проката (закаты, плены, риски, волосовины и пр.) способствуют появлению трещин, рванин, пор при дальнейшей пластической деформации методом волочения. Они остаются на поверхности после обжатия металла при прохождении его через волоки.

Все перечисленные виды дефектов могут раскрываться при штамповке и термообработке в виде трещин, приводя к браку готовых изделий. Поэтому, при наличии значительного количества поверхностных дефектов, калиброванный прокат, подготовленный по различным технологическим вариантам, даже с высокими значениями механических характеристик и имеющий оптимальную структуру, может оказаться совершенно непригодным для дальнейшего изготовления из него болтов методом холодной высадки.

Химический состав образцов горячекатаного проката стали 40X представлен в табл. 1.

Установлено, что макроструктура горячекатаного проката однородная, без усадочных рыхлостей, расслоений, не имеет трещин и других дефектов, видимых невооруженным глазом на поперечных темплетях после травления (рис. 1).

Таблица 1

Химический состав исследуемой стали 40X

Марка стали	Содержание элементов, %					
	C	Mn	Si	P	S	Cr
40X	0,40	0,64	0,20	0,015	0,02	1,00



Рис. 1. Структура горячекатаного проката стали марки 40X – перлит + феррит, $\times 500$

Образцы горячекатаного проката выдержали испытания осадкой до 1/2 первоначальной высоты. Микроструктура проката в состоянии поставки представляет собой «перлит + феррит» (рис. 1), в структуре отсутствует полосчатость. Кроме того, в микроструктуре не встречается видманшттовский феррит. Поэтому можно ожидать, что в дальнейшем на изготовленных длинномерных болтах образование трещин будет маловероятно. Из исследуемого проката планируется изготовить упрочненные длинномерные болты с обрезной головкой (длиной 80 мм и более), которые должны соответствовать классу прочности 9.8 без закалки и отпуска, чем гарантируется исключение появления коробления, трещин и обезуглероженного слоя на готовых стержневых изделиях. В действующих технологиях подготовки проката скрытые дефекты приводят к отбраковке уже готовых болтов после их закалки и отпуска. Кроме того, причиной брака готовых длинномерных изделий может быть результат нарушения технологического режима их термообработки.

Исходной заготовкой для производства калиброванного проката является горячекатаный прокат, полученный непосредственно с металлургического комбината, поэтому важно знать, как его исходное состояние влияет на механические характеристики.

В табл. 2 приведены прочностные и пластические характеристики, а также твердость исследуемого горячекатаного проката диаметром 13,0 мм стали 40X.

Горячекатаный прокат нельзя без технологической обработки запускать под изготовление болтов методом ХОШ, так как он по точности размера профиля и качеству поверхности не отвечает требованиям предъявляемых стандартов и должен быть подвержен пластической деформации методом волочения [13, 14]. Волочение является наиболее применяемым технологическим процессом пластической обработки при изготовлении калиброванного проката для производства крепежа.

Формоизменение проката исследуемой стали при волочении происходило в результате пластической деформации каждого зерна. При этом следует обратить внимание на то, что зерна ориентированы неодинаково, а это значит, что пластическая деформация не может протекать одновременно и одинаково во всех объемах поликристалла. При волочении проката в результате процессов скольжения зерна меняют свою форму. До волочения зерно имело округлую, относительно равноосную форму, после волочения, в результате смещения по плоскостям скольжения, зерна вытягиваются в направлении действующих сил, образуя волокнистую структуру.

Технологический процесс волочения характеризуется схемами главных напряжений и деформаций. При деформировании проката методом волочения схема главных напряжений характеризуется одним напряжением растяжения (первичное) и двумя напряжениями сжатия (вторичные). В данном случае схема главных деформаций полностью соответствует схеме главных напряжений. В результате зерна микроструктуры калиброванного проката стали 40X приобретают ярко выраженную ориентацию вдоль оси деформации растяжения.

В работе [1] рекомендуется ориентированным считать зерно микроструктуры, у которого размер вдоль оси деформации (продольный) превышает более чем на 20% размер поперечный. При этом даже в горячекатаном состоянии к ориентированным можно отнести около 15% зерен. В интервале степеней деформации от 0% до 10% ориентация зерен происходила медленно. При волочении проката со степенью обжатия 10% доля ориентированных зерен составила около 16-17%.

При малых степенях обжатия (до 15%) деформация по поперечному сечению образцов распределяется весьма неравномерно. А это значит, что при волочении с такими степенями обжатий ориентация зерен микроструктуры и искажений кристалли-

Таблица 2

Прочностные и пластические характеристики и твердость исходного горячекатаного проката стали 40X

Марка стали	Диаметр проката, мм	Прочностные и пластические характеристики				Твердость	
		σ_b	σ_T	δ	ψ	HRC	HB
		МПа		%			
40X	13,0	770	630	20,8	58	19	212

ческой решетки большую величину имеют в периферийных слоях. По данным [1] при волочении с обжатиями более 25% деформации по поперечному сечению образцов имеют близкие значения по всему объему. Исследование структуры калиброванных образцов стали 40X в продольном сечении показывает, что наиболее интенсивно ориентация структурных составляющих вдоль оси деформации происходит при степени обжатия 20%. Сталь 40X относится к металлам с объемно-центрированной кристаллической решеткой. Поэтому, согласно литературным источникам [9], при волочении проката холодным способом образуется аксиальная текстура, характеризующаяся преимущественным кристаллографическим направлением – осью текстуры $\langle 110 \rangle$.

Холодная пластическая деформация сопровождается изменениями в микро- и субмикроструктурах. При степенях деформации более 15-20% отмечается появление зеренной текстуры – вытянутость зерен. При степени деформации 40% и 60% зеренная структура составляет 100% структуры, то есть при обжатиях 40% и более практически все составляющие микроструктуры ориентированы вдоль оси деформации (рис. 2 и 3).

Холодная пластическая деформация является результатом процессов движения и размножения дислокаций, а также эволюции дислокационной структуры. Если в горячекатаном состоянии плотность дислокации ρ имеет порядок 10^6 см^{-2} , то уже после волочения при степени обжатия 20-30% плотность возрастает до максимальной величины порядка 10^{12} см^{-2} .

Эволюция дислокационной структуры развивается по схеме [2]: сетка Франка (исходное состояние) – дислокационный «хаос» (сплетения, жгуты) – ячеистая структура – образование мезоструктуры. Увеличение плотности дислокаций ρ , перестройка дислокационной структуры вносит основной вклад в деформационное упрочнение. Из результатов рис.3.4 видно, что предел прочности г/к проката возрастает от 770 МПа ($\epsilon = 0\%$) до 950 МПа ($\epsilon = 30\%$), и от 1050 МПа ($\epsilon = 40\%$) до 1130 МПа ($\epsilon = 60\%$).

Анализ механических характеристик г/к проката показывает, что при увеличении обжатия при его волочении, как правило, увеличиваются прочностные и снижаются пластические характеристики, выше достигаемая твердость.

Образцы проката с диаметров 8,45; 8,95; 9,50; 10,45; 11,40 и 12,70 мм деформировались методом волочения на диаметр 8,00 мм со степенями обжатия 5; 10; 20; 30; 40 и 60%.

Характер влияния холодной пластической деформации на прочностные и пластические характеристики исходного горячекатаного проката представлен на рис. 4 и 5.

Из данных, показанных на рис. 4, следует, что с увеличением обжатия горячекатаного проката от 5 до 60%, увеличиваются его прочностные характеристики. Предел текучести возрастает с 780 до 990 МПа, а временное сопротивление разрыву возрастает с 880 до 1130 МПа. Это совпадает с литературными источниками аналогичных данных по другим маркам сталей.

Влияние деформации при волочении на пластические характеристики горячекатаного проката показано на рис. 5.

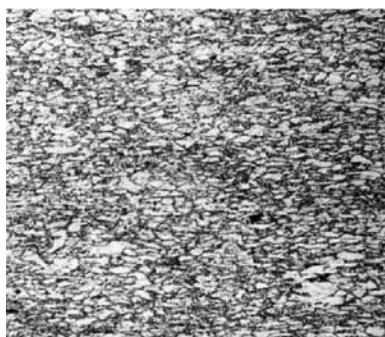


Рис. 2. Текстура – 40% обжатия (x100)

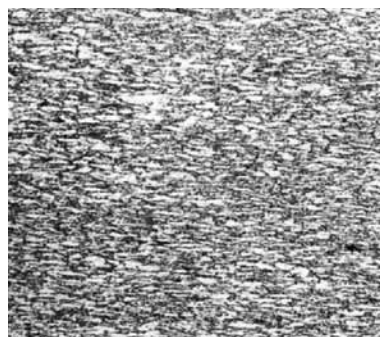


Рис. 3. Текстура – 60% обжатия (x100)

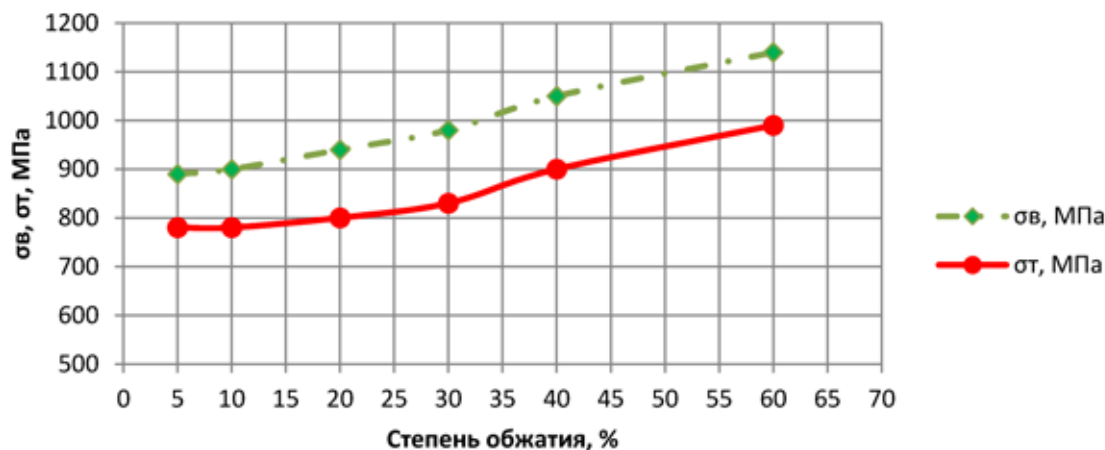


Рис. 4. Зависимость σ_v и σ_m от обжатия при волочении горячекатаного проката

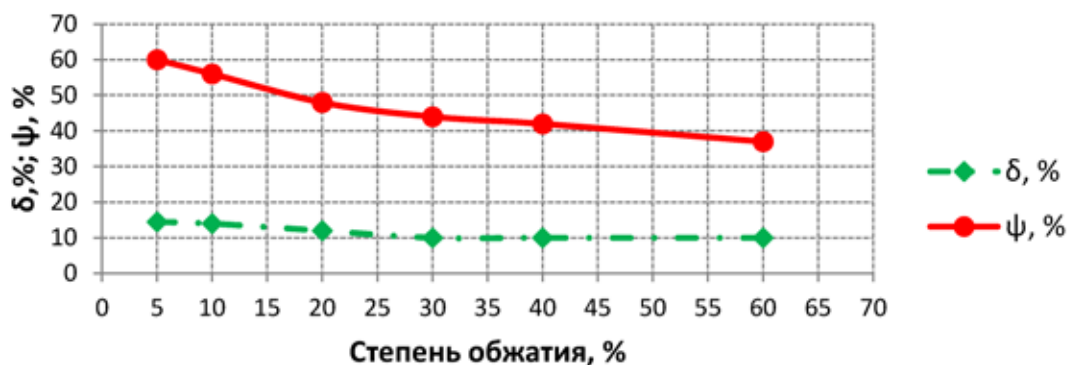


Рис. 5. Зависимость $\delta, \%$ и $\psi, \%$ от обжатия при волочении горячекатаного проката

Установлено, что с увеличением обжатия проката от 5 до 60% его пластические характеристики снижаются. Относительное удлинение при обжатиях волочением от 5 до 30% снижается с 15 до 10%, а при обжатиях от 30 до 60% остается постоянным, равным 10%. Относительное сужение при обжатиях от 5 до 60% монотонно снижается от 60 до 38%.

Эти данные также совпадают с результатами для других марок сталей, опубликованными в работах [1, 7, 16].

Максимально допустимая степень деформации горячекатаного проката стали 40X зависит от пластических характеристик и определяется его микроструктурой. Снижение пластических характеристик может быть обусловлено накоплением повреждаемости при ХПД, связанным с увеличением количества вакансий, дислокаций, микропор, субмикротрещин [2].

Таким образом, исследуемый прокат имеет высокие пластические характеристики ($\psi = 57\text{--}59\%$, $\delta = 20,5\text{--}20,8\%$) и спосо-

бен подвергаться холодному пластическому деформированию методом волочения с обжатием до 60%. При степенях деформации от 5 до 60% временное сопротивление разрыву горячекатаного проката увеличивается с 900 до 1100 МПа, а относительное сужение убывает с 60 до 38%.

Выводы

1. Исследована структура и выявлены характерные поверхностные дефекты горячекатаной стали 40X.

2. Выявлена зависимость структурно-механических характеристик от степени (5, 10, 20, 30, 40 и 60%) технологического обжатия при волочении горячекатаного проката для последующего изготовления длинномерных упрочненных болтов.

3. Установлено, что с увеличением обжатия проката от 5 до 60% его пластические характеристики снижаются, а прочностные характеристики увеличиваются.

4. Показано, что максимально допустимая степень деформации горячекатаного

проката стали 40X зависит от пластических характеристик и определяется его микроструктурой. При этом снижение пластических характеристик может быть обусловлено накоплением повреждаемости при холодно-пластическом деформировании, обусловленном увеличением количества вакансий, дислокаций, микропор и субмикротрещин.

Список литературы

1. Кутяйкин В.Г. Метрологические и структурно-физические аспекты деформирования сталей: монография. – М.: АСМС, 2007. – 484 с.
2. Новиков И.И., Золоторевский В.С. и др. Металловедение в 2-х томах. – М.: Издательский Дом МИСиС, 2009. – 496 с.
3. Пачурин Г.В., Филиппов А.А. Выбор рациональных значений степени обжата горячекатаной стали 40X перед холодной высадкой метизов // Известия ВУЗов. Черная металлургия. – 2008. – № 7. – С. 23–25.
4. Пачурин Г.В., Филиппов А.А. Экономичная технология подготовки стали 40X к холодной высадке крепежных изделий // Вестник машиностроения. – 2008. – № 7. – С. 53–56.
5. Пачурин Г.В. Коррозионная долговечность изделий из деформационно-упрочненных металлов и сплавов: Учебное пособие. – 2-е изд., доп. – СПб.: Издательство «Лань», 2014. – 160 с.: ил. – (Учебники для вузов. Специальная литература).
6. Пачурин Г.В., Филиппов А.А., Кузьмин Н.А. Влияние химического состава и структуры стали на качество проката для изготовления болтов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 8 (Часть 2). – С. 87–92.
7. Пачурин Г.В., Филиппов А.А. Эффект пластической деформации при волочении и термической обработки на структуру и свойства стального проката // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 8 (Часть 2). – С. 93–98.
8. Пачурин Г.В., Филиппов А.А., Кузьмин Н.А. Анализ качества проката для холодной высадки крепежных изделий // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 8 (Часть 2). – С. 111–115.
9. Смитлз К.Дж. Металлы. Справочник. – М.: Металлургия, 1980. – 446 с.
10. Филиппов А.А., Пачурин Г.В. Сравнение технологических вариантов подготовки хромистых сталей под холодную высадку // Успехи современного естествознания. – 2007. – №8. – С. 17–22.
11. Филиппов А.А., Пачурин Г.В. Изготовление калиброванного проката под холодную высадку крепежных изделий из стали 38ХА без отточки поверхностных дефектов // Заготовительные производства в машиностроении. – 2009. – №1. – С. 32–36.
12. Филиппов А.А., Пачурин Г.В., Кузьмин Н.А. Упрочняющая обработка проката для крепежа с целью снижения его стоимости // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 8 (Часть 2). – С. 107–110.
13. Филиппов А.А., Пачурин Г.В. Ресурсосберегающая подготовка стального проката к холодной высадке крепежных изделий // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 8. (Ч. 4). – С. 23–29.
14. Филиппов А.А., Пачурин Г.В. Основные направления развития производства высокопрочного крепежа // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 8. (Ч. 4). – С. 30–36.
15. Pachurin G.V., Filippov A.A. Economical preparation of 40X steel for cold upsetting of bolts // Russian Engineering Research. – 2008. – Т. 28. – №7. – P. 670-673.
16. Pachurin G.V. Ruggedness of structural material and working life of metal components // Steel in Translation. – 2008. – Т. 38. – №3. – P. 217-220.
17. Pachurin G.V., Filippov A.A. Rational reduction of hot-rolled 40X steel before cold upsetting // Steel in Translation. – 2008. – Т. 38. – №7. – P. 522–524.
18. Pachurin G.V. Life of Plastically Deformed Corrosion Resistant Steel // Russian Engineering Research, 2012, Vol. 32. No. 9–10. – P. 661–664.