

УДК 621.77:669.14.018.27

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПАТЕНТИРОВАНИЯ ПОСЛЕ ОБЖАТИЯ С РАЗНОЙ СТЕПЕНЬЮ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПРОКАТА СТАЛИ 40X

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

ФГБОУ ВПО Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева,
Нижегород, email: PachurinGV@mail.ru

В различных отраслях промышленности широко применяются резьбовые детали крепёжного назначения в виде длинномерных деталей типа болтов, шпилек, стремянок и т.п., которые подвергаются закалке с отпуском – упрочнённый стальной крепёж. Развитие производства упрочнённого крепежа в современных условиях, 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. Особенно это актуально в массовом производстве крепежа. В плане минимизации стоимости стали наиболее предпочтительной представляется сталь 40X, имеющая традиционно наибольшее распространение для упрочняемых крепёжных изделий любой степени массовости. Выявлена зависимость структурно-механических характеристик от степени деформации при волочении проката до патентирования при разных температурах. Показана возможность применения упрочняющей обработки с максимальным использованием упрочнения при волочении и патентировании, которые применяются в процессе обработки проката.

Ключевые слова: горячекатаный прокат, волочение, степень обжатия, прочностные свойства, пластичность, холодная высадка, структура

INFLUENCE DEGREE OF DEFORMATION FOLLOWED BY PATENTING ON MECHANICAL HOT-ROLLED 40X

Filippov A.A., Pachurin G.V., Kuzmin N.A.

FGBOU VPO Nizhny Novgorod State Technical Universit R.E. Alekseev,
Nizhny Novgorod, email: PachurinGV@mail.ru

In a variety of industries are widely used threaded parts fastening purpose as long parts such as bolts, studs, ladders, etc., which are subjected to quenching and tempering – reinforced steel fasteners. Development of production hardened fasteners in modern conditions, along with an increase in the strength and reliability of operation involves reducing the cost of the entire production chain, from the receipt of hire and ending with finished parts of the required quality. This is especially true in the mass production of fasteners. In terms of minimizing the cost of steel is most preferably steel 40X, which has traditionally been the most widely used for hardened fasteners of any mass. The dependence of the structural and mechanical characteristics of the degree of deformation during drawing rolled up patenting at different temperatures. The possibility of using a hardening treatment with the maximum use of hardening at drawing and patenting, which will apply to the processing of rolled steel.

Keywords: hot-rolled, drawing, reduction ratio, mechanical properties, plasticity, cold heading, the structure

В современных технических конструкциях широко применяются резьбовые детали крепёжного назначения, которые подвергаются закалке с отпуском – упрочнённый стальной крепёж [7]. 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 [5] – 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 [6], и заканчивая изготовлением готовых деталей требуемого качества [9, 10]. Особенное значение приобретает этот

фактор в производстве крепежа [8], предназначенного для массового потребления, как, например, в автостроении и целом ряде других отраслей промышленности.

Материалы и методы исследования

В плане минимизации стоимости стали наиболее предпочтительной представляется сталь 40X [2]. 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. При этом соответствующее содержание углерода, и легирование хромом (достаточно экономное) упрощает реализацию предлагаемого технического решения во всех его технологических компонентах [4]. Поэтому для исследования в работе была выбрана широко применяемая в метизном производстве сталь 40X. Её химический состав соответствовал ГОСТ 10702-78. Горячекатаный прокат диаметром 11,0 и 13,0 мм по геометрическим параметрам соответствовал ГОСТ 2590-88 «Прокат стальной горячекатаный круглый» обычной точности прокатки «В».

Металлопрокат из мотка выпрямлялся на станке «Шустер» и нарезались образцы длиной 300 мм, по 8 образцов на указанные ниже размеры исследуемой конструкционной легированной стали 40Х.

Отжиг горячекатаного проката стали 40Х на микроструктуру – зернистый перлит производился в камерной печи с выдвигаемым подом.

Очистка поверхности термически обработанного проката от окалины производилась в маточном растворе серной кислоты в соотношении: $H_2SO_4 - 25\%$, остальное железный купорос ($Fe_2SO_4 + H_2$). Затем прокат промывали в проточной воде.

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

После волочения образцы подвергались патентированию. Температура при патентировании и степень обжатия при волочении варьировались в зависимости от задачи исследования. Важным фактором, формирующим окончательную микроструктуру, является однородность аустенита. Исходя из этого, температура нагрева перед патентированием принималась 880°C. Образцы проката подвергались нагреву в соляной ванне (78% $BaCl$ + 22% $NaCl$) в течение 5-ти минут. Затем образцы переносились в селитровую ванну (50% $NaNO_3$ + 50% KNO_3) и осуществлялась операция патентирования при температурах 370, 400, 425, 450, 500 и 550°C с выдержкой пять минут. Далее охлаждение образцов проводилось на воздухе в течение двух минут, затем они охлаждались в воде. Точность регулирования температуры в ванне при патентировании составляла $\pm 5^\circ C$. Последующую подготовку поверхности (снятие окисного слоя) изотермически обработанного проката производили в маточном растворе серной кислоты ($H_2SO_4 - 25\%$, остальное железный купорос – Fe_2SO_4). Затем прокат промывался в проточной воде.

Прочностные и пластические характеристики горячекатаного проката в исходном состоянии

и калиброванного проката после всех видов технологической переработки определялись при испытании на растяжении на разрывной машине типа ЦДМ-100 со шкалой 20 кг. Испытывались образцы длиной 300 мм.

Микроструктура горячекатаного проката в исходном состоянии и калиброванного проката после всех видов технологической переработки исследовалась методом просмотра поверхности специально приготовленных образцов (поперечные микрошлифы) под микроскопом МИМ-8 при увеличении $\times 200 \dots 600$ и на горизонтальном микроскопе «Неофот-21» при увеличении $\times 100$ и $\times 600$. Металлографические микрошлифы готовились по традиционным для данной марки стали технологиям. Травление микрошлифов производилось в 4% растворе азотной кислоты в этиловом спирте. Твердость измеряли на приборе Роквелл, шкала В С, на параллельных шлифованных лысках. Твердость HRC по переводной шкале переводили в твердость HB.

Результаты исследования и их обсуждение

Ниже приведены результаты, показывающие влияние температуры патентирования на механические характеристики проката при разных степенях обжатия (5, 10, 20, 30, 40 и 60%).

Степень обжатия 5%

Влияние температуры патентирования на прочностные и пластические характеристики, предварительно деформированного проката со степенью обжатия 5%, показано на рис. 1 и 2.

Результаты исследования показывают (рис. 1), что при волочении с обжатием 5% и патентировании при температурах от 370 до 550°C, меняются прочностные характеристики проката.

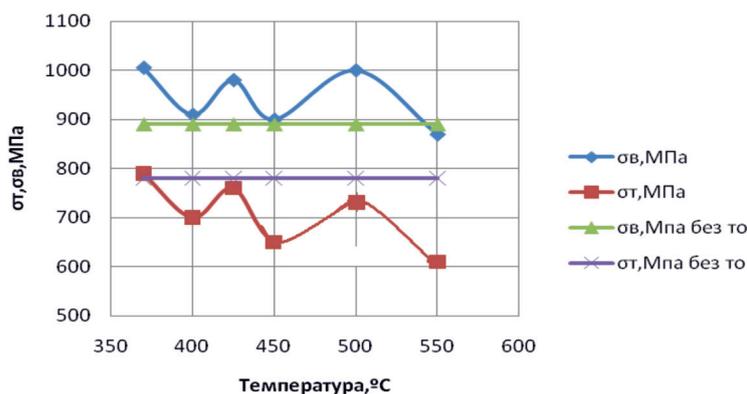


Рис. 1. Зависимость σ_v и σ_t от волочения с обжатием 5% и температуры патентирования

Выявлено, что с изменением температуры патентирования проката от 370 до 400°C, предел прочности убывает с 1000 до 930 МПа; в интервале температур от 400 до 425°C он возрастает с 930 до 970 МПа; температурный интервал от 425 до 450°C характеризуется убыванием σ_v с 970 до

920 МПа. Дальнейшее увеличение предела прочности с 920 до 1000 МПа происходит в интервале температур патентирования от 450 до 500°C. Повышение температуры патентирования от 500 до 550°C приводит к снижению предела прочности с 1000 до 880 МПа.

Предел текучести в диапазоне температур патентирования от 370 до 400 °С снижается с 800 до 710 МПа. В интервале температур от 400 до 425 °С происходит его рост с 710 до 780 МПа. В температурном интервале патентирования от 425 до 450 °С происходит убывание предела текучести с 780 до 650 МПа. Последующий рост температуры при патентировании от 450 до 500 °С приводит к росту предела текучести с 650 до 750 МПа. Увеличение температуры с 500 до 550 °С способствует его снижению с 750 до 620 МПа.

Влияние температуры патентирования на пластические характеристики, предва-

рительно деформированного проката со степенью обжатия 5 % показано на рис. 2.

Установлено, что относительное удлинение и относительное сужение горячекатаного проката остаются постоянными и равными 15 % и 60 %, соответственно.

С увеличением температуры патентирования от 370 до 550 °С пластические характеристики проката меняются.

Установлено, что относительное удлинение при температуре патентирования 370 °С равно 15 %; при температуре патентирования от 370 до 450 °С увеличивается с 15 до 20 %.

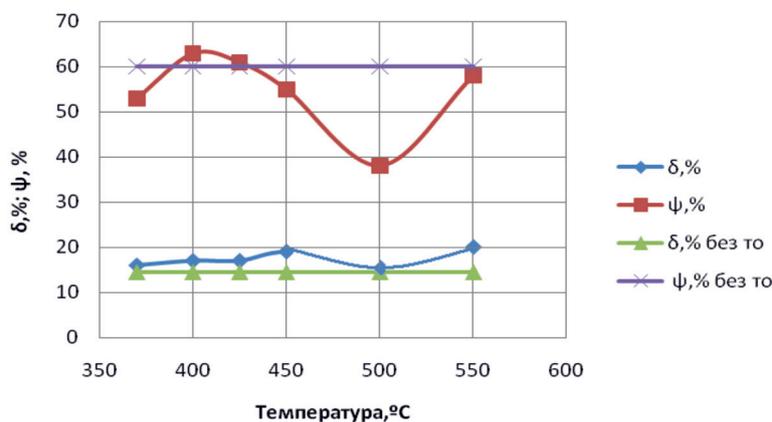


Рис. 2. Зависимость δ и ψ от волочения с обжатием 5 % и температуры патентирования

При изменении температуры от 450° до 500 °С величина относительного удлинения снова убывает с 20 до 14 %. При температуре патентирования от 500 до 550 °С оно увеличивается с 14 до 20 %.

Относительное сужение при температуре от 370 до 400 °С возрастает с 52 до 61 %, а при последующем повышении температуры от 400 °С до 500 °С оно постоянно убывает с 61 до 39 %.

Увеличение температуры от 500 °С до 550 °С приводит к увеличению относительного сужения с 39 до 60 %.

Степень обжатия 10 %

Влияние температуры патентирования на прочностные и пластические характеристики, предварительно деформированного проката со степенью обжатия 10 %. показано на рис. 3. и 4.

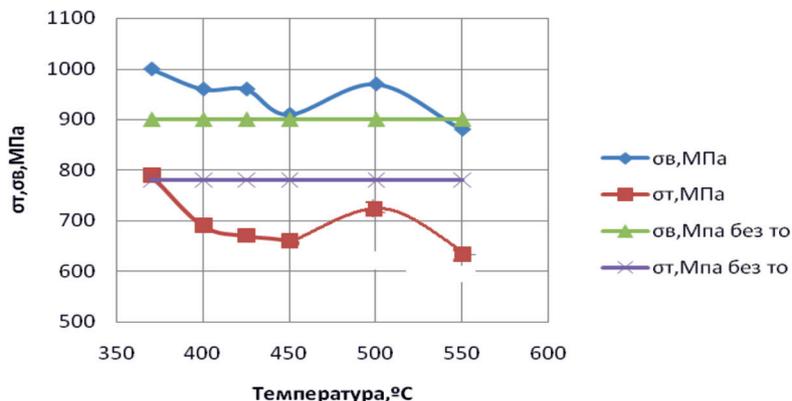


Рис. 3. Зависимость σ_v и σ_m от волочения с обжатием 10 % и температуры патентирования

Временное сопротивление разрыву и предел текучести горячекатаного проката без последующей изотермической обработки остаются постоянными и, соответственно равными 900 МПа и 870 МПа. Изменение температуры патентирования от 370 до 550 °С оказывает значительное влияние на прочностные характеристики проката.

Выявлено, что при изменении температуры от 370 до 450 °С временное сопротивление разрыву уменьшается с 1000 до 900 МПа. При дальнейшем повышении температуры патентирования от 450 до 500 °С оно возрастает с 900 до 980 МПа. Временное сопротивление разрыву сни-

жается с 980 до 890 МПа при увеличении температуры патентирования от 500 до 550 °С.

Предел текучести при изменении температуры от 370 до 450 °С монотонно убывает от 800 до 680 МПа. В интервале температур от 450 до 500 °С он увеличивается с 690 до 720 МПа. Увеличение температуры патентирования от 500 до 550 °С позволяет снизить показатель предела текучести с 720 до 630 МПа.

Влияние температуры патентирования на пластические характеристики, предварительно продеформированного проката со степенью обжатия 10% показано на рис. 4.

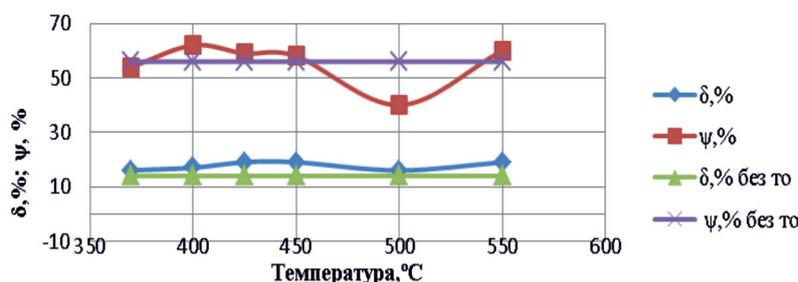


Рис. 4. Зависимость δ и ψ от волочения с обжатием 10% и температуры патентирования

Результаты показывают, что с увеличением температуры патентирования от 370 до 550 °С меняется пластичность проката. Относительное удлинение и относительное сужение горячекатаного проката без последующего патентирования остаются постоянными и равными 14% и 56%, соответственно.

Установлено, что относительное удлинение проката увеличивается с 17% до 19% при температуре патентирования от 370 до 450 °С. При увеличении температуры патентирования от 450 до 500 °С относительное удлинение снижается с 19 до 16%. Возрастает оно с 16 до 20% при увеличении температуры патентирования от 500 до 550 °С.

Относительное сужение при изменении температуры патентирования от 370 до 400 °С возрастает с 53 до 61%. При увеличении температуры от 400 до 500 °С оно убывает с 61 до 40%. Увеличение температуры патентирования от 500 до 550 °С приводит к увеличению относительного сужения с 40 до 60%.

Степень обжатия 20%

Влияние температуры патентирования на прочностные и пластические характеристики, предварительно продеформированного проката со степенью обжатия 20%, показано на рис. 5 и 6.

Данные рис. 5 показывают, что предел текучести и временное сопротивление раз-

рыву горячекатаного проката без последующей изотермической обработки остаются постоянными и, соответственно, равны 800 МПа и 930 МПа. Изменение температуры патентирования от 370 до 550 °С оказывает значительное влияние на прочностные характеристики проката.

Установлено, что предел прочности уменьшается с 1000 до 910 МПа при изменении температуры патентирования от 370 до 450 °С. При повышении температуры патентирования от 450 до 500 °С предел прочности возрастает с 910 до 970 МПа. При дальнейшем повышении температуры патентирования от 500 до 550 °С он снижается с 970 до 920 МПа.

Предел текучести убывает с 800 до 710 МПа при увеличении температуры патентирования от 370 до 400 °С. При увеличении температуры от 400 до 450 °С предел текучести убывает с 710 до 700 МПа. Рост температуры от 450 до 500 °С ведет к увеличению предела текучести с 700 до 720 МПа. Предел текучести снижается с 720 до 700 МПа при увеличении температуры от 500 до 550 °С.

Эффект влияния температуры патентирования на пластические характеристики, предварительно продеформированного проката со степенью обжатия 20% показан на рис. 6.

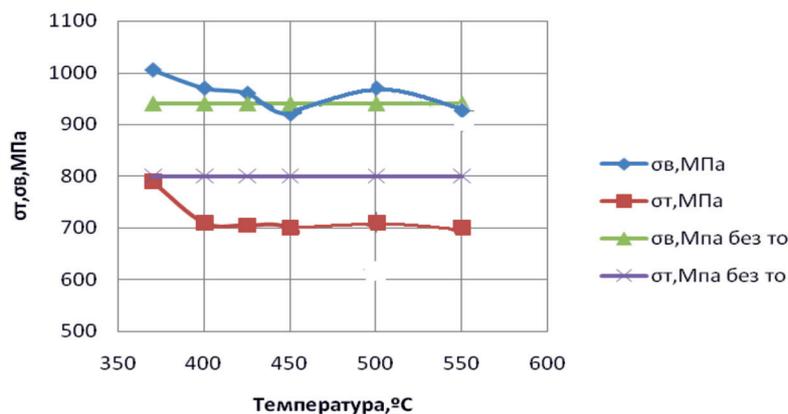


Рис. 5. Зависимость σ_c и σ_t от волочения с обжатием 20% и температуры патентирования

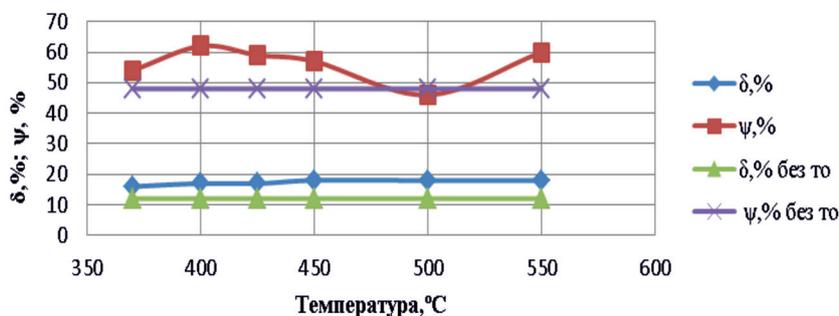


Рис. 6. Зависимость δ и ψ от волочения с обжатием 20% и температуры патентирования

Согласно экспериментальным данным, представленным на рис. 6, относительное удлинение горячекатаного проката без последующей изотермической обработки и его относительное сужение остаются постоянными и соответственно равными 14 и 56%.

С увеличением температуры патентирования от 370 до 550 °C пластические характеристики проката меняются немонотонно.

Установлено, что относительное удлинение при температуре от 370 до 450 °C увеличивается с 15 до 19%. При температуре патентирования от 450 до 500 °C относительное удлинение снижается с 19 до 17%. При увеличении температуры от 500 до 550 °C оно увеличивается с 17 до 18%.

Относительное сужение возрастает с 52 до 61% при увеличении температуры патентирования от 370 до 400 °C. При дальнейшем росте температуры патентирования от 400 до 500 °C оно монотонно убывает с 61 до 48%, а при температуре патентирования 550 °C достигает 60%.

Степень обжатия 30%

Влияние температуры патентирования на прочностные и пластические характеристики, предварительно продеформирован-

ного проката со степенью обжатия 30%, показано на рис. 7 и 8.

Установлено, что временное сопротивление разрыву и предел текучести горячекатаного проката без последующей изотермической обработки остаются постоянными и равными, соответственно, 900 и 870 МПа.

Выявлено, что увеличение температуры патентирования от 370 до 550 °C меняет прочностные характеристики проката.

Установлено, что временное сопротивление разрыву при изменении температуры от 370 до 450 °C уменьшается с 1250 до 1060 МПа. При дальнейшем повышении температуры от 450 до 500 °C оно возрастает с 1060 до 1260 МПа. Временное сопротивление разрыву снижается с 1260 до 990 МПа в диапазоне повышения температур от 500 до 550 °C.

Величина предела текучести при изменении температуры патентирования от 370 до 450 °C монотонно убывает с 830 до 710 МПа. Предел текучести увеличивается с 710 до 805 МПа при температуре патентирования от 450 до 550 °C. Дальнейшее повышение температуры от 500 до 550 °C приводит к его снижению с 805 до 715 МПа.

Влияние температуры патентирования на пластические характеристики, предварительно продеформированного проката с обжатия 20%. показано на рис. 8.

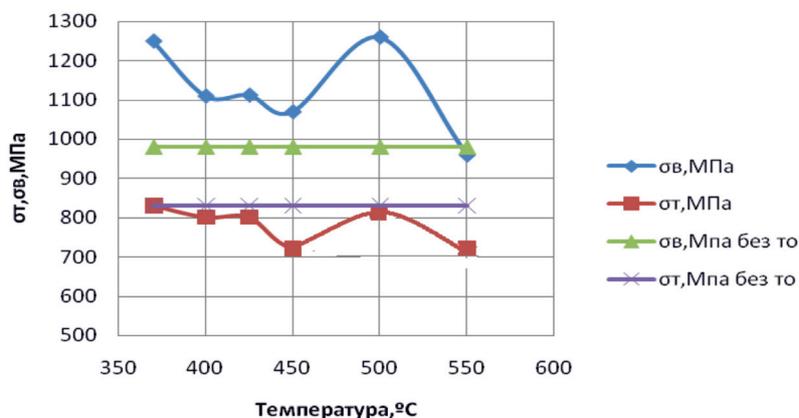


Рис. 7. Зависимость σ_v и σ_t от волочения с обжатием 30% и температуры патентирования

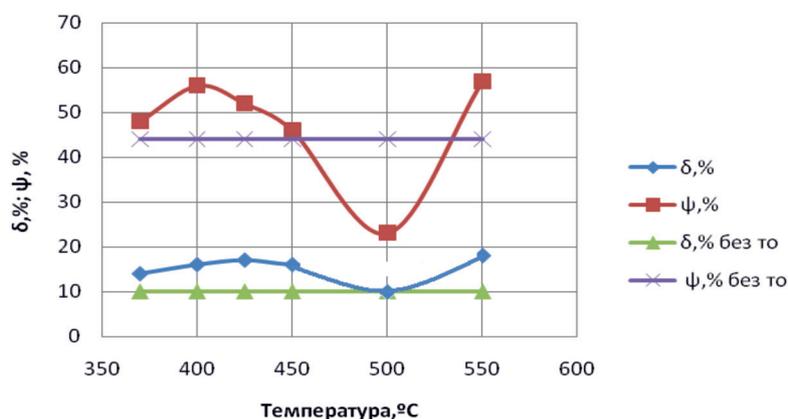


Рис. 8. Зависимость δ и ψ от волочения с обжатием 30% и температуры патентирования

Экспериментальные данные, представленные на рис. 8 показывают, что относительное удлинение горячекатаного проката без последующего патентирования, остается постоянным, равным 10%. Относительное сужение горячекатаного проката так же остается постоянным и равно 45%.

Волочение с обжатием 30% и увеличение температуры патентирования от 370 до 550 °C приводят к изменению пластических характеристик проката.

Выявлено, что относительное удлинение увеличивается с 12 до 18% при температуре от 370 до 425 °C. При увеличении температуры от 425 до 450 °C оно снижается с 18 до 16%. Рост температуры с 450 до 500 °C приводит к его снижению с 16 до 10%. Очередное увеличение температуры с 500 до 550 °C ведет к росту величины относительного удлинения от 10 до 19%.

Относительное сужение при температуре от 370 до 400 °C увеличивается с 48 до

56%. Дальнейшее увеличение температуры с 400 до 500 °C снижает величину ψ с 56 до 25%. Патентирование при температурах от 500 до 550 °C приводит к увеличению с 25 до 56%.

Степень обжатия 40%

Влияние температуры патентирования на прочностные и пластические характеристики, предварительно продеформированного проката со степенью обжатия 40%, показано на рис. 9 и 10.

Величины σ_v и σ_t горячекатаного проката без последующего патентирования остаются постоянными и равными, соответственно, 1050 и 900 МПа. Данные исследования, представленные на рис. 9, показывают, что волочение с обжатием 40% и увеличение температуры патентирования от 370 до 550 °C приводят к изменению прочностных характеристик проката. Выявлено, что величина σ_v при температуре патентирования от 370 до 450 °C снижается

с 1200 до 1000 МПа. При увеличении температуры с 450 до 500 °С временное сопротивление разрыву увеличивается с 1000 до 1190 МПа. При росте температуры патентирования от 500 до 550 °С оно снижается с 1190 до 940 МПа. Предел текучести при изменении температуры патентирования от 370 до 450 °С монотонно убывает от 810 до

660 МПа, а при температуре от 450 до 500 °С σ_t возрастает с 660 до 780 МПа. Рост температуры от 500 до 550 °С ведет к снижению предела текучести с 780 до 660 МПа.

Влияние температуры патентирования на пластические характеристики, предварительно деформированного проката со степенью обжатия 40%, показано на рис. 10.

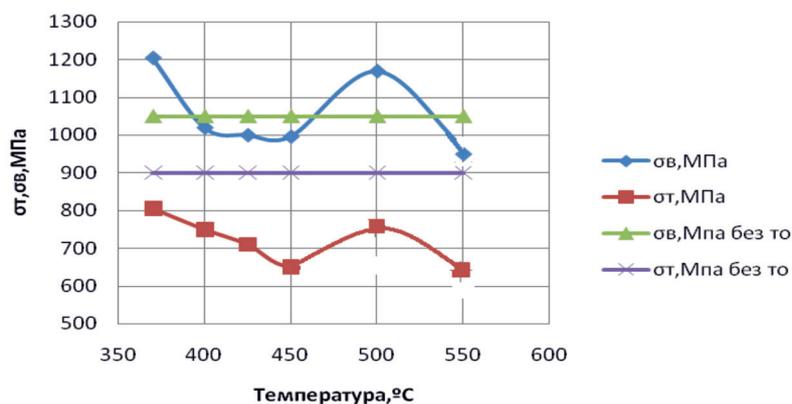


Рис. 9. Зависимость σ_v и σ_t от волочения с обжатием 40% и температуры патентирования

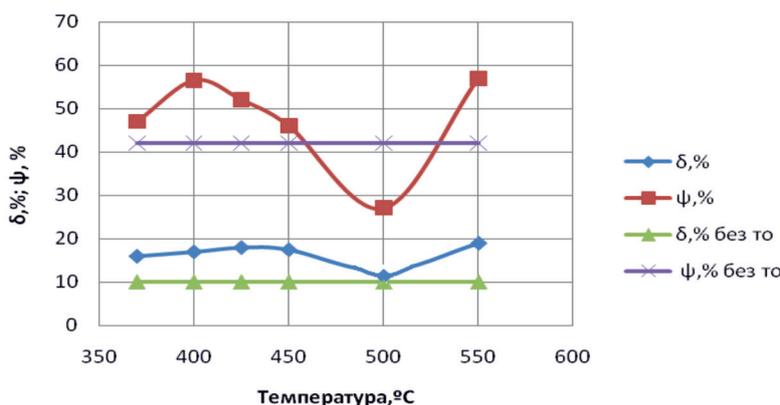


Рис. 10. Зависимость δ и ψ от волочения с обжатием 40% и температуры патентирования

Установлено, что относительное удлинение и относительное сужение горячекатаного проката без последующего патентирования остаются постоянными и равными 10% и 44%, соответственно. Данные исследования (рис. 10) показывают, что волочение с обжатием 40% и увеличение температуры патентирования от 370 до 550 °С влияют на пластические характеристики проката. Относительное удлинение монотонно возрастает с 17 до 19% при изменении температуры патентирования от 370 до 450 °С. При дальнейшем повышении температуры от 450 до 500 °С относительное удлинение снижается с 19 до 10%. Рост температуры патентирования от 500 до 550 °С позволяет увеличить относительное удли-

нение с 10 до 20%. Относительное сужение увеличивается с 47 до 56% при температуре патентирования от 370 до 400 °С. При повышении температуры от 400 до 500 °С оно существенно убывает с 58 до 28%. Повышение температуры патентирования от 500 до 550 °С приводит к увеличению относительного сужения с 28 до 57%.

Степень обжатия 60%

Влияние температуры патентирования на прочностные и пластические характеристики, предварительно продеформированного проката со степенью обжатия 60%, показано на рис. 11 и 12.

Результаты исследования (рис. 11) показывают, что временное сопротивление разрыву и предел текучести горячекатано-

го проката без изотермической обработки (патентирования) остаются постоянными и составляют, соответственно, 1150 и 1000 МПа.

Установлено, что волочение с обжатием 60% и увеличение температуры патентирования от 370 до 550 °С меняют прочностные характеристики проката.

Временное сопротивление разрыву при изменении температуры от 370 до 400 °С снижается с 1250 до 1015 МПа. При повышении температуры патентирования от 400 до 425 °С оно увеличивается с 1015 до 1060 МПа. Рост температуры от 425 до 450 °С позволяет снизить временное сопротивление разрыву с 1060 до 1000 МПа. Уве-

личение температуры патентирования от 450 до 500 °С приводит к увеличению предела прочности с 1000 до 1120 МПа. Возрастание температуры от 500 до 550 °С приводит к его снижению с 1120 до 1000 МПа. Предел текучести снижается с 840 до 700 МПа при увеличении температуры от 370 до 450 °С. С увеличением температуры от 450 до 500 °С он увеличивается с 700 до 900 МПа. При увеличении температуры патентирования от 500 до 550 °С предел текучести снижается с 900 до 680 МПа.

Влияние температуры патентирования на пластические характеристики, предварительно продеформированного проката со степенью обжатия 60%, показано рис. 12.

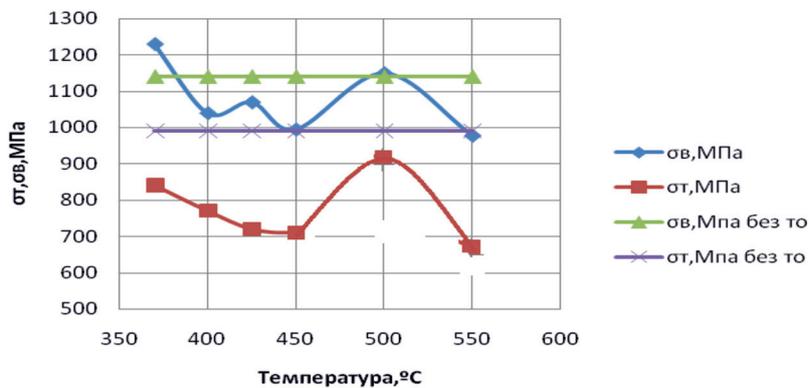


Рис. 11. Зависимость σ_v и σ_m от волочения с обжатием 60% и температуры патентирования

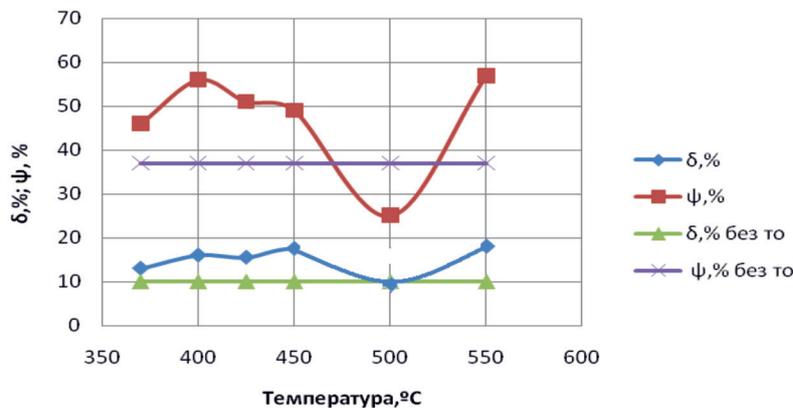


Рис. 12. Зависимость δ и ψ от волочения с обжатием 60% и температуры патентирования

Относительное удлинение и относительное сужение горячекатаного проката без патентирования остаются постоянными и равны соответственно 14% и 59%.

Установлено, что степень обжатия 60% и рост температуры патентирования от 370 до 550 °С влияет на пластические характеристики проката.

Относительное удлинение увеличивается с 11 до 18% при изменении температуры

от 370 до 450 °С. При дальнейшем увеличении температуры от 450 до 500 °С оно снижается с 18 до 10%. Рост температуры от 500 до 550 °С ведет к увеличению показателя относительного удлинения с 10 до 19%.

Относительное сужение при изменении температуры от 370 до 400 °С возрастает с 45 до 54%. Дальнейший рост температуры от 400 до 500 °С приводит к значительному его снижению с 54 до 25%. При увеличении

температуры с 500 до 550 °С происходит повышение показателя относительного сужения с 25 до 56%.

Выводы

1. Исследовано влияние степени обжатия (5, 10, 20, 30, 40 и 60%) при волочении с последующим патентированием при температурах селитровой ванны 370, 400, 425, 450 и 550 °С на прочностные и пластические характеристики горячекатаной стали 40X.

2. Выявлена зависимость структурно-механических характеристик от степени деформации при волочении проката с последующим патентированием при разных температурах.

3. Получены оптимальные микроструктуры проката для последующего изготовления из него длинномерных болтов.

4. Показана возможность применения упрочняющей обработки с максимальным использованием упрочнения при волочении и патентировании, которые применяются в процессе обработки проката. Предполагается достижение такого же уровня упрочнения, как и при термическом улучшении, что позволит исключить его из производственного цикла изготовления готовых деталей.

Список литературы

1. Иванов В.Н. Словарь-справочник по литейному производству. – М.: Машиностроение, 1990. 384 с.

2. Пачурин Г.В., Филиппов А.А. Экономичная технология подготовки стали 40X к холодной высадке крепежных изделий // Вестник машиностроения. – 2008. – № 7. – С. 53–56.

3. Пачурин Г.В., Филиппов А.А. Выбор рациональных значений степени обжатия горячекатаной стали 40X перед холодной высадкой метизов // Известия ВУЗов. Черная металлургия. – 2008. – № 7. – С. 23–25.

4. 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 (Ч. 2). – С. 87–92.

5. 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 (Ч. 2). – С. 93–98.

6. 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 (Ч. 2). – С. 111–115.

7. 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 (Ч. 2). – С. 107–110.

8. 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.

9. 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.

10. Pachurin G.V., Filippov A.A. Economical preparation of 40X steel for cold upsetting of bolts // Russian Engineering Research. – 2008. – Т. 28, № 7. – Р. 670–673.