

УДК 621.77:669.14.018.27

УСТОЙЧИВОСТЬ АУСТЕНИТА ПРИ РАЗНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГОРЯЧЕКАТАНОЙ СТАЛИ 40Х

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

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

В автомобильной и ряде других отраслей промышленности широко используются высокопрочные болтовые соединения, являющиеся одним из наиболее массовых видов деталей машин. В работе исследованы прочностные и пластические свойства исходного горячекатаного проката для холодной объемной штамповки метизных изделий и изучена устойчивость аустенита стали 40Х в условиях выдержки в селитровой ванне в диапазоне температур от 370 до 550°C. Время пребывания проката в селитровой ванне должно быть несколько большим времени окончания сорбитного превращения. Низкая температура ванны (ниже 350°C) может способствовать образованию твердой и хрупкой структуре верхнего бейнита; высокая температура селитровой ванны (выше 670°C) может привести к снижению прочностных характеристик проката (образуется перлит). Анализ продуктов превращения аустенита, получающихся в результате изотермического превращения при различных температурах в селитровой ванне, показывает, что в районе температур 630°C...420°C получают структуры эвтектоидного типа, тем более дисперсионные, чем ниже температура превращения. Этот способ охлаждения при разных температурах селитровой ванны исследовали для получения калиброванного проката с оптимальными механическими свойствами, полностью соответствующими нужному классу прочности болтовых изделий.

Ключевые слова: горячекатаный прокат, селитровая ванна, структура, устойчивость аустенита, пластичность, прочностные свойства

STABILITY OF THE AUSTENITE AT VARIOUS TEMPERATURES AND MECHANICAL PROPERTIES HOT-ROLLED 40X

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

FGBOU VPO Nizhny Novgorod State Technical University R.E. Alekseev,
Nizhny Novgorod, e-mail: PachurinGV@mail.ru

In the automotive and many other industries widely used high-strength bolted connections, which are one of the most popular types of machinery parts. The paper studies the strength and plastic properties of the original hot-rolled steel for cold forming metal wares and studied the stability of austenite steel 40X in a soaking bath of saltpeter in the temperature range from 370 to 550°C. The residence time of hire in saltpeter bath should be slightly higher since the end of sorbitol conversion. The low bath temperature (below 350°C) can contribute to the formation of hard and brittle upper bainite structure; heat bath of saltpeter (670°C above) may lead to a decrease in the strength characteristics of products (formed perlite). Analysis of the products of austenite transformation, the resulting isothermal transformation at different temperatures in the saltpeter bath, shows that in the temperature 630°C...420°C obtained eutectoid structure type, the more dispersion, the lower the transformation temperature. This method of cooling at different temperatures saltpeter bath investigated for calibrated rolled with optimum mechanical properties, in full accordance with the required class strength bolting products.

Keywords: hot-rolled, saltpeter bath, structure, stability of austenite, ductility, strength properties

Так как исходной заготовкой для производства калиброванного проката является горячекатаный прокат, то его пластичность во многом определяет дальнейшую способность к волочению [6]. Качество горячекатаного проката оценивается соответствием нормативным требованиям его геометрических параметров (овальность и установленные величины допуска на диаметр), химического состава и механических характеристик. Оно также определяется структурой проката, которая, в свою очередь, зависит от способа изготовления, включая разливку стали, нагрев заготовок и горячую прокатку на прокатном стане, способа охлаждения и последующей термообработки [7]. Горячекатаный прокат должен иметь высокую степень чистоты поверхности и бездефектное поперечное сечение [4]. Если получаемый с метал-

лургических комбинатов горячекатаный прокат, согласно ГОСТ 10702-78, предназначен для последующего холодного волочения, то особое значение имеют технологические процессы, обеспечивающие получение пригодного для ХОШ проката, со значительными обжатиями без промежуточной термической обработки.

1. Механические характеристики горячекатаного проката

Структурное состояние и качество поверхности горячекатаного проката во многом определяют дальнейшее качество калиброванного проката и изготовленных из него длинномерных болтовых изделий. Механические характеристики, являющиеся наиболее используемыми показателями качества сталей, в значительной степени определяются пластической и термической

обработкой, которые изменяют структуру на макро и микроскопическом уровне [3]. В табл. 1 и 2 приведены химический состав,

прочностные и пластические характеристики, твердость исследуемого горячекатаного проката диаметром 13,0 мм стали 40Х.

Таблица 1

Химический состав стали 40Х

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

Таблица 2

Механические свойства горячекатаного проката стали 40Х

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

Результаты исследования микроструктуры горячекатаного проката показали, что она представляет собой «перлит + феррит».

Образцы выдержали испытания осадкой до 1/2 высоты первоначального образца, как этого требует ГОСТ 10702-78.

Таким образом, исследованный исходный горячекатаный прокат стали 40Х по химическому составу и механическим характеристикам соответствует ГОСТ 10702-78.

Схема-диаграмма изотермического превращения аустенита для эвтектоидной стали представлена на рис. 1.

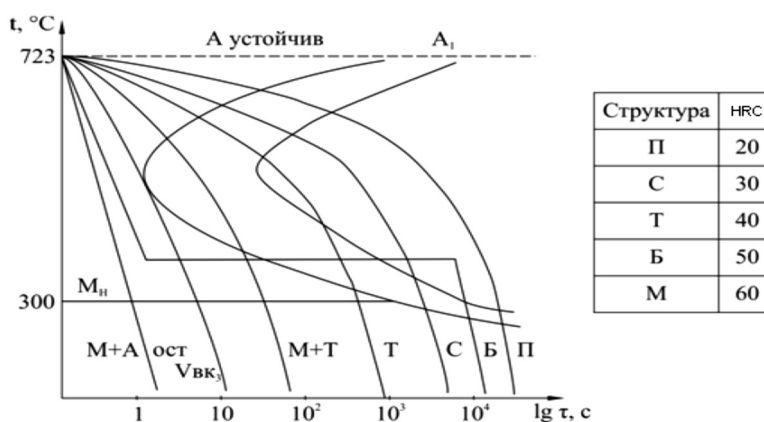


Рис. 1. Схема-диаграмма изотермического превращения аустенита эвтектоидной стали с обозначением получаемых структур в зависимости от скорости охлаждения. Условные обозначения: П – перлит, С – сорбит, Т – Троостит, М – Мартенсит, Аост. – аустенит остаточный, Б – бейнит, Vвкз – верхняя критическая скорость закалки

Калиброванный прокат (диаметр 8,0 мм) получали из горячекатаного проката, который подвергали холодному волочению на однократном волочильном стане. При волочении происходил наклёп, прочностные характеристики проволоки увеличивались, а пластические снижались (рис. 2 и 3).

Влияние деформации при волочении на пластические характеристики горячекатаного проката показано на рис. 3.

Для получения достаточной пластичности ($\psi = 50 - 57\%$) и требуемой прочности ($\sigma_B = 920 - 1050$ МПа) прокат подвергали патентированию. Патентирование – это специфический процесс термообработки. По главному классификационному признаку – типу фазовых превращений – он относится к отжигу 2-го рода, являясь одной из разновидностей изотермических обработок.

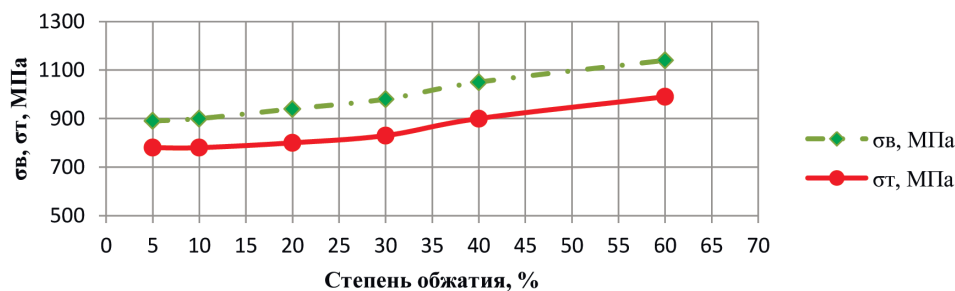


Рис. 2. Зависимость σ_v и σ_t от обжатия при волочении горячекатаного проката

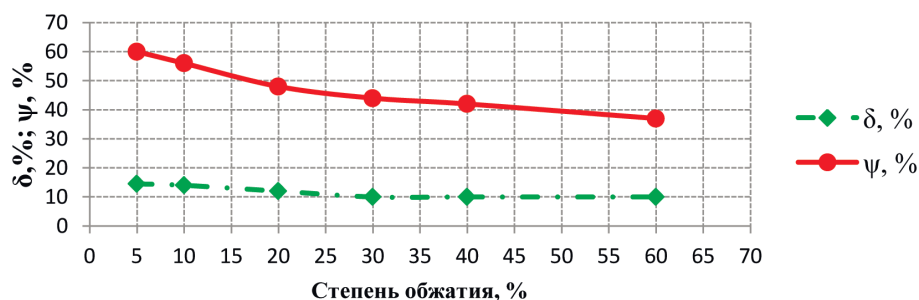


Рис. 3. Зависимость δ, ψ от обжатия при волочении горячекатаного проката

Температуру в селитровой ванне при патентировании (выдержке при заданной температуре) меняли от 370 до 550°C. При патентировании аустенит в данном интервале температур должен распадаться на квазиэвтектоидную смесь тонкопластинчатого строения, которую называют сорбитом патентирования. Дисперсность частиц сорбита патентирования определяется прежде всего температурой изотермической среды. Температура нагрева проката стали 40X (880°C) должна обеспечить гомонизацию аустенита [1].

Известно [2], 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 S-образную форму. Реальное превращение аустенита (при выдержке проката стали 40X в селитровой ванне с температурой 400–550°C) происхо-

дило в температурном интервале сорбитного превращения 480–630°C. Время пребывания проката в селитровой ванне должно быть несколько большим времени окончания сорбитного превращения. Низкая температура ванны (ниже 350°C) может способствовать образованию твердой и хрупкой структуре верхнего бейнита; высокая температура селитровой ванны (выше 670°C) может привести к снижению прочностных характеристик проката (образуется перлит).

Ввиду того, что в условиях действующего производства ванны патентирования имеют ограниченную длину, то выдержку прутка, при заданных температурах селитровой ванны, происходила в течение 5-ти минут. Верхнюю температуру нагрева прутка (перед началом выдержки в селитровой ванне) оценивали так, что за три секунды переноса она составит 800°C.

Параметры охлаждения прутка при разных температурах селитровой ванны (370, 400, 425, 450, 500 и 550°C) представлены в табл. 3–8.

Таблица 3

Время охлаждения проката при температуре селитровой ванны, раной 370°C

№ п/п	Промежуточные температуры проката при охлаждении в селитровой ванне, °C	Время охлаждения проката до заданной температуры, мин (сек)
1	750	0,19 (11,0)
2	700	0,45 (27)
3	650	0,72 (43,2)
4	600	1,05 (63)
5	550	1,45 (87)
6	500	1,98 (118,8)
7	450	2,82 (169)
8	390	5,14 (308)

Таблица 4

Кинетика охлаждения проката при температурах селитровой ванны, равной 400 °С

№ п/п	Промежуточные температуры проката при охлаждении в селитровой ванне, °С	Время охлаждения проката до заданной температуры, мин (сек)
1	750	0,37 (22,6)
2	700	0,47 (28,11)
3	650	0,838 (50,28)
4	600	1,14 (68,4)
5	550	1,6 (96,5)
6	500	2,278 (136,68)
7	450	3,41 (204,6)
8	420	4,89 (291,6)

Таблица 5

Время охлаждения проката при температуре селитровой ванны, равной 425 °С

№ п/п	Промежуточные температуры проката при охлаждении в селитровой ванне, °С	Время охлаждения проката до заданной температуры, мин (сек)
1	750	0,12 (7,5)
2	700	0,333 (19,8)
3	650	0,705 (42,3)
4	600	1,14 (68,4)
5	550	1,644 (98,64)
6	500	2,4135 (144,81)
7	450	4,05 (243)
8	440	4,82 (289)

Таблица 6

Кинетика охлаждения проката при температуре селитровой ванны, равной 450 °С

№ п/п	Промежуточные температуры проката при охлаждении в селитровой ванне, °С	Время охлаждения проката до заданной температуры, мин (сек)
1	750	0,19 (11,5)
2	700	0,42 (25,4)
3	650	0,77 (46,4)
4	600	1,1735 (70,2)
5	550	1,735 (104,1)
6	500	2,69 (161,4)
7	460	4,05 (303)

Таблица 7

Кинетика охлаждения проката при температуре селитровой ванны, равной 500 °С

№ п/п	Промежуточные температуры проката при охлаждении в селитровой ванне, °С	Время охлаждения проката до заданной температуры, мин (сек)
1	750	0,18 (11,2)
2	700	0,41 (24,8)
3	650	0,83 (49,89)
4	600	1,31 (78,6)
5	550	2,826 (169,56)
6	510	4,4135 (144,81)

Таблица 8

Кинетика охлаждения проката при температуре селитровой ванны, равной 550 °С

№ п/п	Промежуточные температуры проката при охлаждении в селитровой ванне, °С	Время охлаждения проката до заданной температуры, мин (сек)
1	750	0,19 (11,7)
2	700	0,45 (26,8)
3	650	0,81 (48,6)
4	600	1,4 (84,6)
5	560	2,8 (168)

Рассчитали и построили кривые охлаждения прутка в селитровой ванне с заданной температурой.

На рис. 4 представлены кривые изотермического превращения аустенита для стали марки 40X и кривые охлаждения при

температурах селитровой ванны 370, 400, 425, 450, 500 и 550 °С.

С понижением температуры селитровой ванны от 550 до 370 °С устойчивость аустенита меняется (рис. 1). Для завершения превращения аустенита при 550 °С требуется около 10–12 минут, но в наших исследованиях превращение аустенита при температуре селитровой ванны 550 °С заканчивалось при более высокой температуре ~ за 85 сек. Для завершения превращения аусте-

нита при 500 °С требуется около 5,5 минут; для завершения превращения аустенита при 450 °С требуется около 100 секунд, для завершения процесса при 400...450 °С требуется около 2 минут. Ниже 400 °С устойчивость аустенита снова возрастает. Длительность инкубационного периода устойчивости аустенита при температурах ниже 400 °С, как и время, требующееся для полного превращения аустенита, больше, чем при температурах около 450 °С.

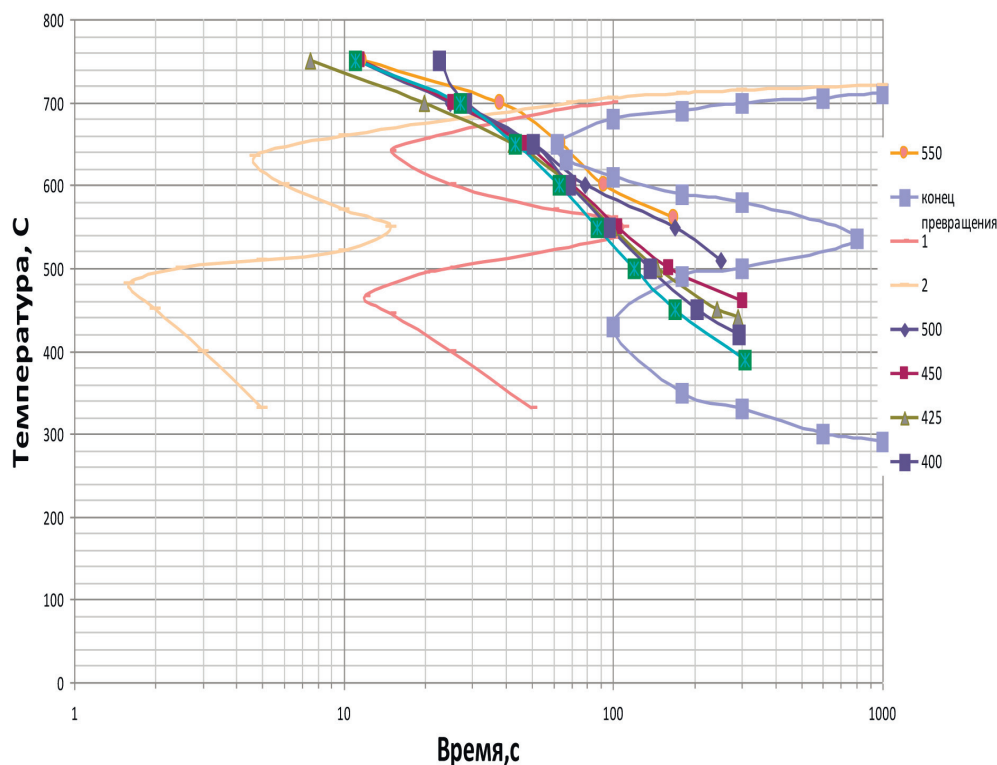


Рис. 4. Кривые изотермического превращения аустенита и кривые охлаждения стали 40Х при разных температурах селитровой ванны

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. Этот способ изотермического охлаждения, при разных температурах селитровой ванны, исследовали для получения в прокате различных по дисперсности структур сорбита патентирования. После операции патентирования методом волочения изготовили калиброванный прокат и выявили оптимальные прочностные и пластические характеристики и твердость, которые полностью соответствуют нужному классу прочности болтовых изделий [5,8–10].

Выводы

Пластичность горячекатаного проката во многом определяет дальнейшую его способность к волочению, так как он является исходной заготовкой для производства калиброванного проката методом ХОШ.

Структурное состояние и качество поверхности горячекатаного проката во многом определяют дальнейшее качество калиброванного проката и изготовленных из него длинномерных болтовых изделий. Механические характеристики, являющиеся наиболее используемыми показателями качества сталей, в значительной степени определяются пластической и термической обработкой, которые изменяют структуру на макро и микроскопическом уровне.

Для получения достаточной пластичности ($\psi = 50 - 57\%$) и требуемой прочности

($\sigma_{\text{в}} = 920 - 1050$ МПа) прокат подвергли патентированию.

Продукты превращения аустенита, получающиеся в результате изотермического превращения при различных температурах в селитровой ванне, показывают, что в районе температур $630^{\circ}\text{C} \dots 420^{\circ}\text{C}$ получают структуры эвтектоидного типа, тем более дисперсионные, чем ниже температура превращения.

Применение этого изотермического охлаждения, при разных температурах селитровой ванны позволило выявить оптимальную твердость, прочностные и пластические характеристики, полностью соответствующие нужному классу прочности болтовых изделий.

Список литературы

1. Зотов О.Г., Кисельников В.В., Кондратьев С.Ю. Физическое металловедение. – СПбГТУ, 2001. – 257 с.
2. Конторович И.Е. Термическая обработка стали и чугуна: учебное пособие для ВУЗов / И.Е. Конторович. – М.: Металлургиздат, 1950. – 663 с.
3. Кутяйкин В.Г. Металлологические и структурно-физические аспекты деформирования сталей : монография. -М.: АСМС, 2007. – 484 с.
4. 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.
5. Пачурин Г.В., Филиппов А.А. Экономичная технология подготовки стали 40Х к холодной высадке крепежных изделий // Вестник машиностроения, 2008. – № 7. – С. 53–56.
6. Филиппов А.А., Пачурин Г.В. Изготовление калиброванного проката под холодную высадку крепежных изделий из стали 38ХА без обточки поверхностных дефектов // Заготовительные производства в машиностроении, 2009. – № 1. – С. 32–36.
7. Филиппов А.А., Пачурин Г.В., Гушин А.Н., Пачурин В.Г. Повышение качества поверхности стального проката под калибровку перед высадкой крепежных изделий // Заготовительные производства в машиностроении, 2007. – № 3. – С. 51–53.
8. Филиппов А.А., Пачурин К.Г., Пачурин Г.В., Гушин А.Н. Ресурсосберегающая технология подготовки калиброванного проката под холодную высадку изделий // Заготовительные производства в машиностроении, 2008. – № 3. – С. 37–39.
9. Филиппов А.А., Пачурин Г.В. Патент на изобретение «Способ обработки горячекатаного проката под высадку болтов», Патент RU 2380432 C1 C21D 8/06. 2008151317/02; Заявл. 9.12.2008; Оpubл. 27.01.2010. Бюл. № 3.
10. Pachurin G.V., Filippov A.A. Economical preparation of 40X steel for cold upsetting of bolts // Russian Engineering Research. – 2008. – Т. 28, № 7. – С. 670–673.