

УДК 621.785

В. В. ИвашкоГосударственное научное учреждение «Физико-технический институт
Национальной академии наук Беларуси», Минск**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ НАГРЕВА НА СТРУКТУРУ
И СВОЙСТВА НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ 20X13**

Изучено влияние печного и скоростного нагрева при скорости V_n , равной $50^\circ\text{C} / \text{с}$, на структуру и механические свойства закаленных в воде или в масле образцов, вырезанных из прутков нержавеющей стали 20X13. Исследованы структура и механические свойства образцов, претерпевших закалку и последующий отпуск в интервале температур $500\text{--}700^\circ\text{C}$.

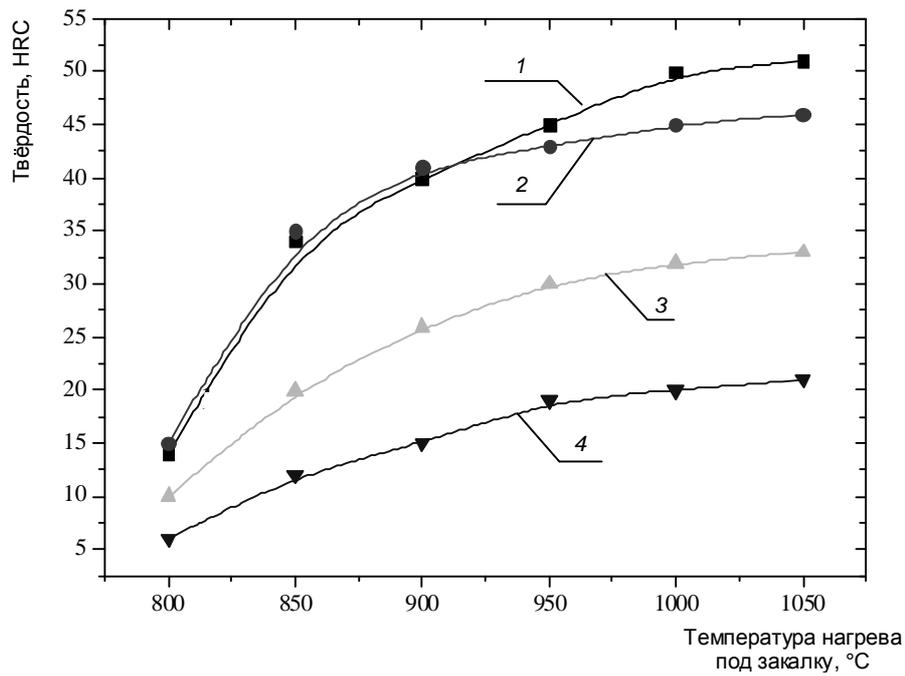
Ключевые слова: нержавеющая сталь, механические свойства, структура, скоростной нагрев.

Введение. Стали, легированные хромом в пределах $12\text{--}18\%$, относятся к нержавеющим, поскольку на поверхности образуется тончайшая защитная плёнка окислов, предохраняющая от дальнейшего окисления и повышающая стойкость против воздействия воздуха и многих органических кислот [1]. Большинство нержавеющих сталей подвергают упрочняющей термической обработке, включающей закалку и отпуск. Особое внимание уделяется разработке режимов скоростного нагрева под закалку, обеспечивающих растворение хромистых карбидов, формирование близкого к однородному мартенсита и высокого уровня механических свойств [2].

Основная часть. В качестве материалов, используемых для изготовления валов, втулок, корпусов, работающих в коррозионной среде, применяли прутки стали 20X13. Среди технических требований к данным деталям важнейшим является твёрдость поверхностного слоя, работающего в агрессивной среде. Для изучения влияния режимов нагрева на структуру и механические свойства образцы, вырезанные из прутков диаметром $30\text{--}50$ мм, нагревали в печи до температур $800\text{--}1050^\circ\text{C}$, а затем охлаждали в воде или масле. Скоростной нагрев (V_n равно $50^\circ\text{C} / \text{с}$) осуществляли с применением установки электроконтактного нагрева УКН-3, спроектированной и изготовленной в Физико-техническом институте Национальной академии наук Беларуси. Закалённые образцы подвергали отпуску в печи при температурах $500\text{--}700^\circ\text{C}$ в течение 30 мин.

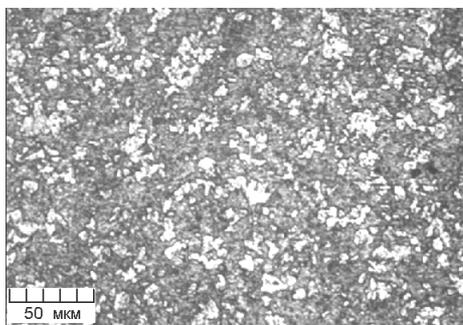
Термически обработанные образцы исследовали с применением металлографического и рентгеновского анализа, испытывали на прочность и твёрдость. Для выявления структуры использовали реактив Марбле (20 г медного купороса, 100 мл HCl и 100 мл этилового спирта). Микроструктуру просматривали с применением микроскопа Versamet-2. Твёрдость измеряли с применением твердомера ТК-2 (Роквелл).

Нагрев в печи. После нагрева в печи и закалки с температуры 800°C твёрдость стали 20X13 составляет 14 HRC, прочность — 579 МПа, относительное удлинение — 29,2%. Фазовый состав стали: феррит и мелкодисперсные карбиды Cr_{23}C_6 . С повышением температуры нагрева до 850°C происходит растворение мелкодисперсных карбидов, и за счёт фиксирования при закалке мартенсита твёрдость повышается до 33 HRC, а прочность σ_b возрастает до 1 175 МПа. Относительное удлинение при этом снижается до 12%. В интервале температур $850\text{--}1000^\circ\text{C}$ твёрдость линейно возрастает от 33 до 50 HRC (рисунок 1). Максимальное значение твёрдости (51 HRC) было получено после закалки с температуры 1050°C , максимальное значение прочности (1 530 МПа) — после закалки с температуры 950°C , относительное удлинение не превышает 4,7%. Исследования микроструктуры закалённых в течение 30 мин и охлаждённых в масле образцов показывают, что в интервале температур $850\text{--}1000^\circ\text{C}$ происходит частичное растворение карбидов, формирование и частичный рост зёрен (рисунок 2, б, в).

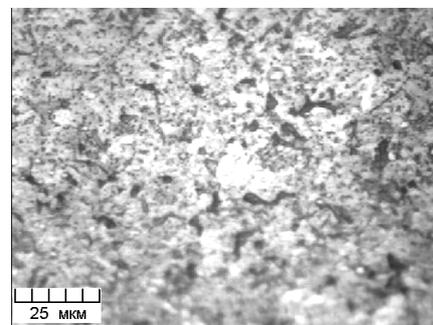


1 — после закалки; 2 — после закалки и отпуска 500°C, 30 мин; 3 — после закалки и отпуска 600°C, 30 мин; 4 — после закалки и отпуска 700°C, 30 мин

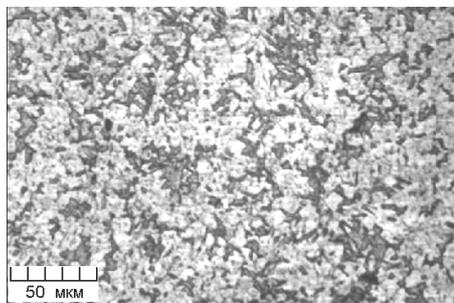
Рисунок 1. — Влияние температуры нагрева под закалку и температуры отпуска на твёрдость стали 20X13



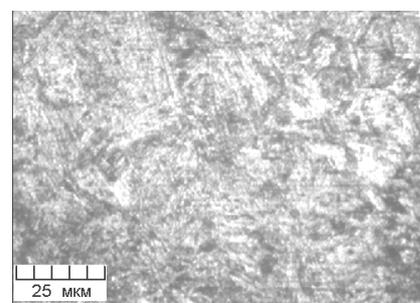
а)



в)



б)



г)

а — 800°C; б — 850°C; в — 900°C; г — 1 000°C

Рисунок 2. — Микроструктура стали 20X13 после закалки

Нерастворившиеся карбиды располагаются по границам зёрен и тормозят их после нагрева до температуры 1 050°C и выше. В образцах, закалённых с температуры 1 000°C, фиксируется крупноугольчатый мартенсит (см. рисунок 2, з).

Образцы, закалённые с температурой 1 000°C в течение 30 мин и отпущенные при 500°C в течение 2 ч, хрупко разрушались. Относительное удлинение и относительное сужение составляло 1 и 4% соответственно. Показано, что с повышением температуры отпуска от 500 до 700°C временное сопротивление на разрыв линейно снижается от 1 010 до 700 МПа. После отпуска при 500°C предел текучести закалённой стали 20X13 составляет 1 000 МПа, а после отпуска при 600°C — 855 МПа. Следует отметить, что в интервале температур отпуска 550...600°C относительное удлинение составляет 14...16%, а относительное сужение — 55%. С повышением температуры отпуска от 600 до 650°C и 700°C предел текучести линейно снижается от 730 до 560 МПа. После отпуска при 650°C (2 ч) проявляется отпускная хрупкость. Относительное удлинение снижается до 10%, а относительное сужение — до 30%. После отпуска при 700°C (2 ч) предел текучести стали 20X13 составляет 560 МПа, а пластические характеристики восстанавливаются. Относительное удлинение составляет 17%, относительное сужение — 57%.

Скоростной нагрев. Образцы длиной l , равной 100 мм, диаметром 10 мм нагревали со скоростью 50°C / с и закаливали в масле. Нагрев осуществляли методом пропускания тока через образец. Скоростной нагрев приводит к смещению кривых упрочнения на 40...60°C вверх по температурной шкале по сравнению с кривыми, полученными при печном нагреве. После закалки с температуры 850°C предел прочности образцов составляет 696 МПа, предел текучести — 527 МПа, а относительное удлинение — 20%. В интервале температур 850...960°C предел прочности на разрыв линейно возрастает от 698 до 1 489 МПа, относительное удлинение снижается от 20 до 8%. Максимальное значение прочности 1 530 МПа получают после закалки с температуры 1 020°C, относительное удлинение при этом не превышает 6,5%.

Во второй серии испытаний образцы диаметром 10 мм и длиной 100 мм нагревали со скоростью 50°C / с до температур 870...1 100°C, немедленно охлаждали в воде или в масле, а затем подвергали отпуску (2 ч) при температуре 650°C. При охлаждении в воде на образцах, закалённых с температур, превышающих 1 000°C, наблюдали появление продольных трещин. Поэтому в дальнейшем все нагретые образцы закаливали в масле, а затем из них вырезали образцы для исследования микроструктуры и механических свойств. После закалки с температуры 870°C в структуре фиксируется феррит и мелкодисперсные карбиды (рисунок 3, а). Предел прочности составляет 682 МПа, предел текучести $\sigma_{0,2}$ — 539 МПа, а относительное удлинение и сужение — 18 и 62% соответственно. С повышением температуры до 960°C происходит частичное растворение карбидов (см. рисунок 3, б), повышение прочностных характеристик до σ_b , равного 748 МПа, $\sigma_{0,2}$, равного 606 МПа, и снижение пластических до δ , равного 13%, ψ , равного 51%. После закалки с температуры 1 010...1 100°C и последующего отпуска 650°C (2 ч) из мартенсита выделяются мелкодисперсные карбиды размером 0,5...1,0 мкм (см. рисунок 3, в, з). Прочностные свойства хромистой стали 20X13, закалённой с 1 050°C и отпущенной при 650°C, повышаются (σ_b равно 822 МПа, $\sigma_{0,2}$ — 677 МПа). Пластические свойства образцов, закалённых с температуры 1 010...1 050°C, восстанавливаются до уровня δ , составляющего 16...17%, ψ , равного 60...63%. На образцах стали 20X13, закалённой с температуры 1 100°C, наблюдается частичное снижение прочностных и пластических свойств (σ_b составляет 798 МПа, $\sigma_{0,2}$ — 671 МПа, δ — 12%, ψ — 48%).

Заключение. Исследовано влияние температуры нагрева в печи на структуру и твёрдость закалённой стали 20X13. Показано, что максимальная твёрдость стали 49...50 HRC достигается после нагрева до температур 1 000...1 050°C, последующей выдержки 30 мин и закалки в масле.

Изучено влияние температуры нагрева до закалки и последующего отпуска при температурах 500, 600 и 700°C на твёрдость стали 20X13. Установлено, что после нагрева до 1 050°C и отпуска 500°C

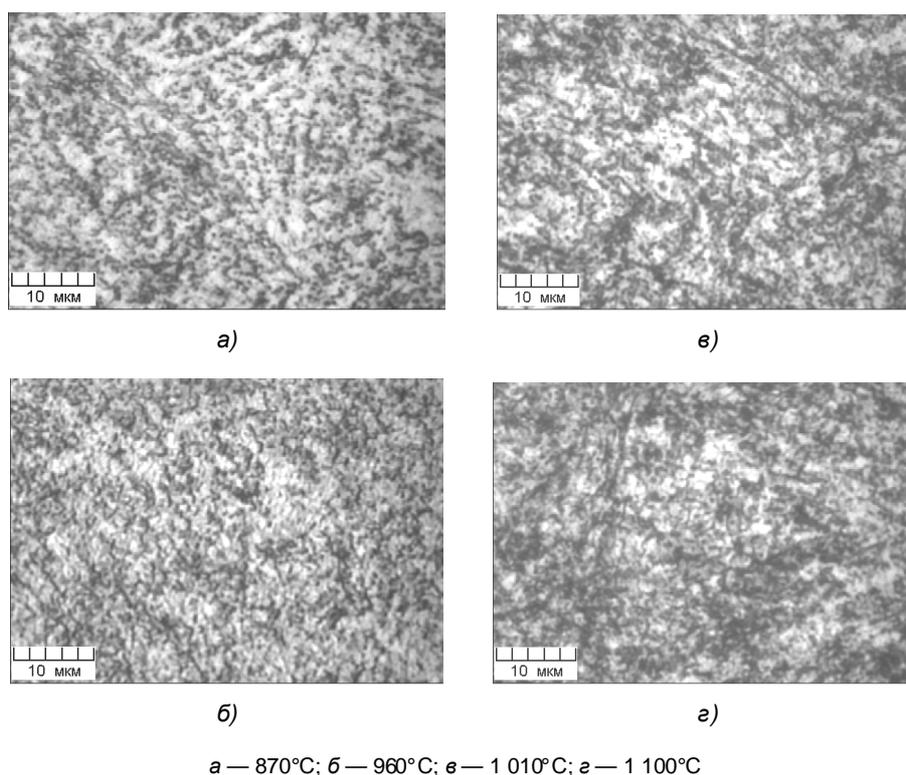


Рисунок 3. — Микроструктуры стали 20X13 после скоростного нагрева (V_n равно 50°С / с) и старения 650°С, 2 ч

(2 ч) твёрдость закалённой стали составляет 45...46 HRC. С повышением температуры отпуска до 600 и 700°С твёрдость снижается до 33 и 20 HRC соответственно.

Показано, что после нагрева в печи до 1 000°С, закалки в масле и отпуска при 500°С сталь 20X13 охрупчивается. Временное сопротивление на разрыв составляет 1010 МПа, предел текучести 990 МПа, а δ и ψ не превышают 1...3%. С повышением температуры отпуска до 700°С пределы прочности и текучести линейно снижаются до 700 и 560 МПа соответственно. Относительное удлинение и относительное сужение после отпуска при 550, 600 и 700°С составляют 12...13 и 55% соответственно. После отпуска при 650°С пластические свойства снижаются: δ равно 10% и ψ равно 30%.

Исследовано влияние температуры скоростного нагрева (V_n равно 50°С / с) и последующего отпуска при 650°С (2 ч) на механические свойства стали 20X13. Установлено, что с повышением температуры нагрева от 850 до 1050°С временное сопротивление на разрыв линейно возрастает от 680 до 800 МПа, а предел текучести — от 540 до 680 МПа. Относительное удлинение снижается от 17 до 12...14%, а относительное сужение — от 65 до 55...60%. После скоростного нагрева и закалки с 1 100°С и отпуска 650°С механические свойства стали 20X13 следующие: σ_b — 825 МПа, $\sigma_{0,2}$ — 680 МПа, δ — 11%, ψ — 47%. По результатам исследований были выбраны режимы термического упрочнения прутков, изготовленных из стали 20X13.

Список цитируемых источников

1. Химушин Ф. Ф. Нержавеющие стали. М. : Металлургия, 1963. 600 с.
2. Бодяко М. Н., Астапчик С. А. Электротермообработка сплавов с особыми свойствами. Минск : Наука и техника, 1977. 295 с. ; Упрочняющие технологии и покрытия / Е. Н. Сафонов [и др.] // Машиностроение. 2012. № 2. С. 17—20.

Samples made of 20X13 steel have been heat-treated using methods of furnace and rapid heating from 800...1 100°С, as well as quenching and tempering. Their structure, phase composition and mechanical properties have been studied. Results of the study can be applied in developing the modes of three-dimensional or surface hardening of shafts, rods or fastening parts.

Key words: 20X13 steel, rapid heating, structure, mechanical properties.