

УДК 669.017:621.73

Л.С. Кривчик /магістр/,

Нікопольський технікум Національної металургійної академії України, м. Нікополь, Україна

Т.С. Хохлова /к.т.н./,

Національна металургійна академія України, м. Дніпро, Україна

В.Л. Пінчук

Нікопольський технікум Національної металургійної академії України, м. Нікополь, Україна

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ ПРЕСОВОГО ІНСТРУМЕНТУ ДЛЯ ПРЕСУВАННЯ НЕРЖАВІЮЧИХ ТРУБ

L.S. Kryvchyk /M. Sc./,

Nikopol College of National Metallurgical Academy of Ukraine, Nikopol, Ukraine

T.S. Khokhlova /Cand. Sci. (Tech.)/,

National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnipro, Ukraine

V.L. Pinchuk

Nikopol College of National Metallurgical Academy of Ukraine, Nikopol, Ukraine

THE PERFECTION OF TECHNOLOGY OF HEAT TREATMENT OF PRESSING TOOL FOR PRESSURE RUSTPROOF PIPES

Мета. Метою дослідження є удосконалення технології термічної обробки основного трубопресового інструмента – голки-оправки для пресування неіржавіючих труб на трубопрофільних пресах для подальшого вибору оптимальних режимів термозміцнення.

Методика. Для проведення дослідження з поковок діаметром 250 мм були вирізані зразки розміром 10×10×55 мм і піддані остаточній термічній обробці в цехових умовах при різних температурних режимах загартування, відпуску і хіміко-термічної обробки. Виготовлення мікрошліфів зводилось до виконання наступних операцій: шліфування, полірування й травлення. Проведено мікроструктурний аналіз зразків і визначена твердість після різних режимів термічної обробки.

Результати. Побудовані і досліджені графіки залежності твердості зразків від температури загартування, відпуску, запропонований оптимальний режим газового азотування (що підтверджено результатами замірів твердості) для отримання високих експлуатаційних властивостей трубопресового інструмента і отримання необхідного балу зерна, проведено дослідження структури азотованого шару (мікроструктурне і електронне). Результатом роботи є розробка оптимального режиму термозміцнення інструмента (голки-оправки) (загартування з двократним відпуском і послідовним азотуванням замість традиційного режиму – загартування з трикратним відпуском), що підвищує міцність, зносо- і теплостійкість сталі шляхом утворення стійких у процесі нагрівання карбідів, нітридів, боридів і т. п. В результаті сталь здобуває високу твердість на поверхні HRC 71 – 72, що не змінюється при нагріванні до 400 – 450 °С, високу опірність зношуванню, високі границі витривалості, корозійну стійкість.

Наукова новизна. Вперше науково обґрунтовано вибір більш ефективного режиму термозміц-

нення трубопресового інструмента (з проведенням мікроструктурних досліджень), що дозволяє його використовувати в реальних умовах виробництва неіржавіючих труб на трубних підприємствах «ПРАТ Сентравіс Продакшн Юкрейн», «ТОВ ВО Оскар» та ін.

Практична цінність. Удосконалення технології термічної обробки голки-оправки (загартування з відпуском і послідуєчим азотуванням замість звичайної технології – загартування з відпуском) дозволить збільшити стійкість пресового інструмента на 30 % та знизити витрати по переробці виготовлення неіржавіючих труб, а також покращити якість внутрішньої поверхні труб (відсутність плівок, порізів та інших дефектів неіржавіючих труб).

Ключові слова: голка-оправка, пресування, термічна обробка, газове азотування, іонне азотування, загартування, відпуск, термозміцнення.

DOI: 10.34185/0543-5749.2019-5-6-47-56

Вступ. Методом пресування виробляється велика кількість напівфабрикатів, виготовлених з чорних і кольорових металів.

Продуктивність прес-установок, якість і вартість готової продукції залежить значною мірою від виконання пресового інструменту, вартість якого становить до 25 % від вартості переробки всього пресового цеху.

Пресові голки або трубні оправки – це інструмент, який утворює внутрішню порожнину труби. Під час пресування голки працюють в найбільш важких умовах, тому що піддаються розтягуючим та здавлюючим напругам при підвищеній температурі поверхневого шару внаслідок тертя металу і теплового ефекту деформації. Під час роботи відбувається подовження голки за рахунок її пластичної деформації, зношення її робочої поверхні, можливі обриви голок в різьбовій або робочій частині, згин або руйнування, утворення повздовжніх або поперечних тріщин, що є головними причинами порушення процесу пресування труб [1, с. 116].

Матеріал пресового інструменту повинен мати наступні властивості:

- **жароміцність** – здатність зберігати міцність і пластичні характеристики при температурах обробки;
- **жаростійкість** – опір окисленню при тривалих нагрівах;
- **розгаростійкість** – здатність витримувати багатократні зміни інтенсивного нагріву і охолодження;
- **зносостійкість** – висока стійкість проти стирання;
- малий коефіцієнт теплового розширення для збереження постійних розмірів при нагріванні і охолодженні;
- висока **теплопровідність** – для швидкого відведення тепла, щоб уникнути перегріву.

Комплекс перерахованих властивостей,

якими повинен володіти пресовий інструмент, досягається застосуванням при його виготовленні жароміцних сталей аустенітного і мартенситного класів, легованих хромом, вольфрамом, нікелем, молібденом; спеціальних жароміцних сплавів на основі нікелю і кобальту, що містять вольфрам, хром, молібден, титан, алюміній; твердих сплавів і мінералокерамічних матеріалів [2, с. 122].

Матеріали та методика досліджень. Пресування – високоефективний спосіб виробництва труб з високоміцних сталей і сплавів, прошивка яких на станах поперечно-гвинтової прокатки ускладнена або неможлива.

Пресовані труби характеризуються мінімальною, в порівнянні з іншими способами гарячої деформації, кількістю зовнішніх і внутрішніх дефектів завдяки найбільш сприятливій схемі напруженого стану металу у середовищі деформації (всебічне нерівномірне стиснення) [3, с. 54].

Для прошивання отвору в заготовці застосовують голки, які встановлюють у голкотримачі. Внутрішній діаметр труби визначається діаметром голки. Призначення голки – прошивання отвору в злитку й утворення отвору в трубі або профілі. Розмір голок невеликий, перебувають під дією високих температурних, силових навантажень, піддаються стиранню. З метою підвищення стійкості використовують внутрішнє охолодження голки.

Голка (1) є формотворним технологічним інструментом, призначеним для формування внутрішнього діаметра труб. Конструкція голки для пресування труб подана на рис. 1 [3, с. 129].

Для виготовлення голок-оправок для пресування труб найчастіше використовують вторинотвердіючу безвольфрамову сталь 4X5MФ1С, яку піддають термічній обробці [4, с. 157].

Хімічний склад сталі наведений в таблиці 1. [5, с. 145].

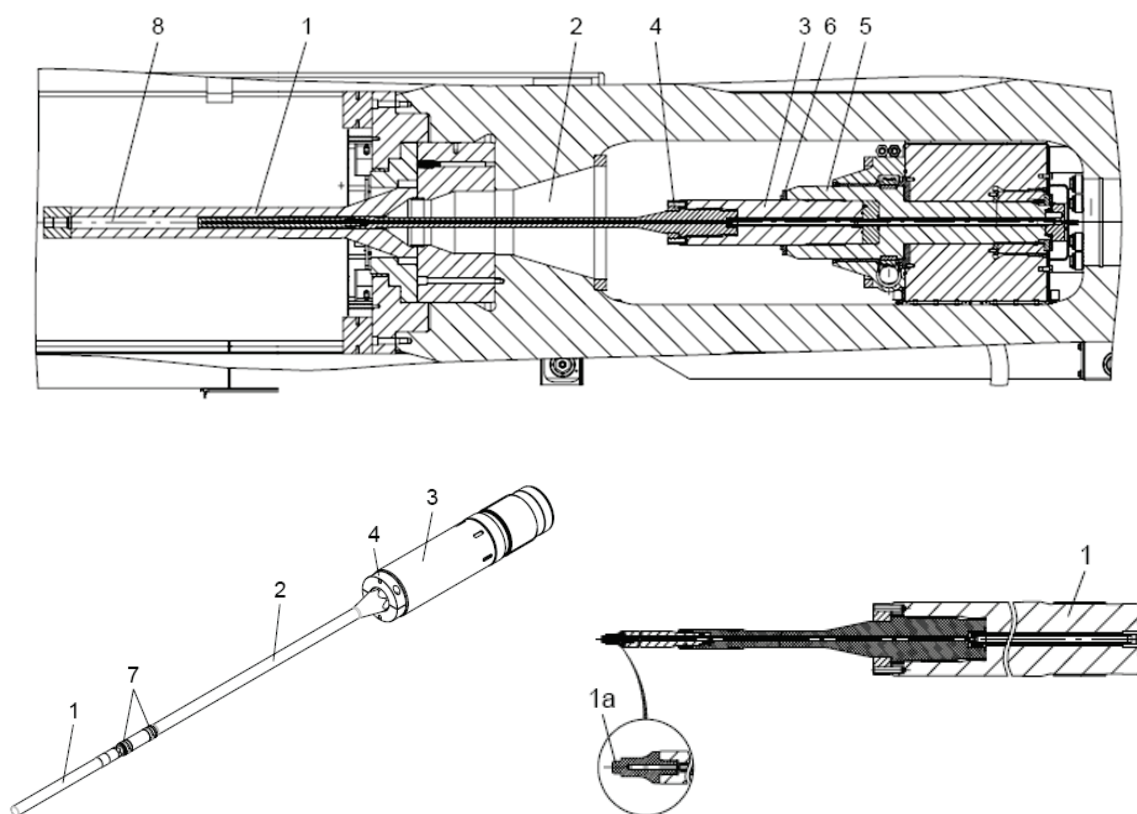


Рис. 1. Конструкція голки для пресування труб

Таблиця 1. Хімічний склад сталі 4Х5МФ1С, % по масі (ГОСТ 5950-73)

С	Si	Mn	Cr	V	Mo	Ni	Cu	S	P
						не більше			
0,32	0,90	0,20	4,50	0,30	1,20	0,35	0,30	0,30	0,03
0,40	1,20	0,50	5,50	0,50	1,50				

У даній роботі проведено дослідження штампової сталі 4Х5МФ1С для виготовлення голки-оправки для пресування труб на трубопрофільних пресах після різних режимів термічної обробки. Характерною рисою сталі 4Х5МФ1С є комплексне легування й схильність до дисперсійного твердіння. Високий рівень легування сприятливо впливає на міцність, прогартованість, теплостійкість сталі й дає можливість використовувати її для інструментів, що розігріваються в процесі роботи до 600 °С. Дисперсійне твердіння забезпечує гарні деформуючі властивості інструмента [6, с.56].

Проведене наступне азотування голки дозволило отримати властивості, які забезпечують не тільки якісну роботу інструмента, але й дають певний економічний ефект за рахунок зниження виробничих витрат.

Для проведення дослідження з поковок діаметром 250 мм були вирізані зразки розміром 10×10×55 мм і піддані остаточній термічній обробці в цехових умовах. Зразки з маркованими номерами 1, 12, 24, 36, 48 загартовані в печі при температурі 950, 1000, 1050, 1070 і 1100 °С. Охолодження проводилося в маслі. Зразки з номерами 60, 72, 84, 96 загартовано при температурі 1070 °С і піддані відпуску з різними температурними режимами. Крім того, зразки 108, 120, 132 піддані наступному азотуванню після термозміцнення.

Виготовлення мікрошліфа зводилось до виконання наступних операцій: шліфування, полірування й травлення.

Теорія та аналіз отриманих результатів. Структури зразків досліджуваної сталі, загартованих від різних температур, наведені на рис. 3, 4, 5, 6.

Таблиця 2. Режими термообробки експериментальних зразків

№ п/п	Номер зразку	Температура загартування	Температура відпуску		Температура азотування	Твердість HRC
			I	II		
1.	1	950°C	-	-	-	52-53
2.	12	1000°C	-	-	-	56-57
3.	24	1050°C	-	-	-	59-61
4.	36	1070°C	-	-	-	60-61
5.	48	1100°C	-	-	-	61-63
6.	60	1070°C	310°C -320°C	300°C -310°C	-	48-50
7.	72	1070°C	400°C -420°C	380°C -400°C	-	51-52
8.	84	1070°C	530°C -550°C	500°C -530°C	-	52-53
9.	96	1070°C	550°C -570°C	530°C -550°C	-	54-55
10.	108	1070°C	550°C -570°C	530°C -550°C	500°C -520°C	71-72
11.	120	1070°C	550°C -570°C	530°C -550°C	540°C -560°C	68-69
12.	132	1070°C	550°C -570°C	530°C -550°C	580°C -600°C	66-67

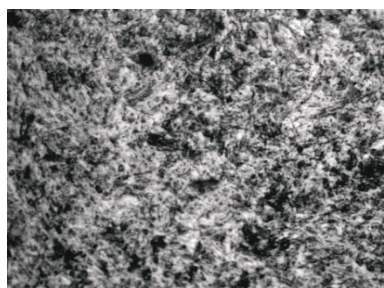


Рис. 3. Мікроструктура сталі 4X5MФ1С після загартування від 950 °С (мартенсит мілко-голчастий, аустеніт остатній і карбіди), *500

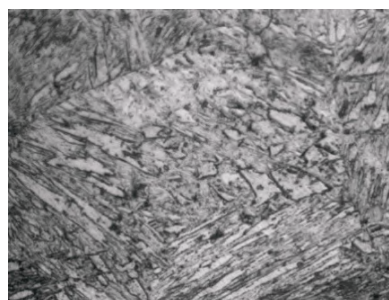


Рис. 4. Мікроструктура сталі 4X5MФ1С після загартування від 1050 °С (мартенсит голчастий, аустеніт остатній і карбіди), *500

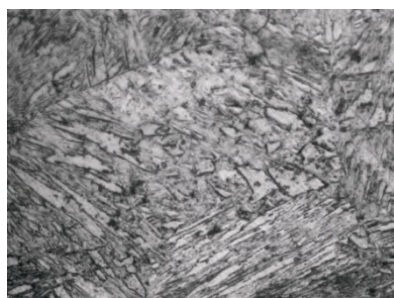


Рис. 5. Мікроструктура сталі 4X5MФ1С після загартування від 1070 °С (мартенсит голчастий, аустеніт остатній і карбіди), *500



Рис. 6. Мікроструктура сталі 4X5MФ1С після загартування від 1100 °С (мартенсит крупно-голчастий, аустеніт остатній і карбіди), *500

Дослідження сталі 4X5MФ1С показали, що зі збільшенням температури загартування збільшується твердість (рис. 7), тому що аустеніт (мартенсит після охолодження) стає більш леготним за рахунок розчинення карбідів при

нагріванні.

Структури зразків досліджуваної сталі, загартованих від температури 1070 °С і відпущених при різних температурах, наведені на рис. 8, 9, 10.

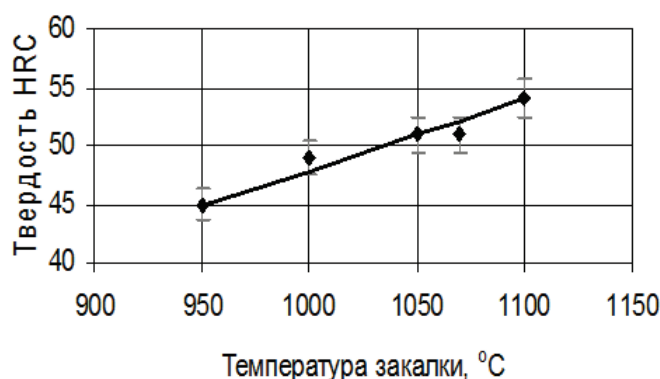


Рис. 7. Залежність твердості загартованих зразків сталі 4X5MФ1С від температури загартування

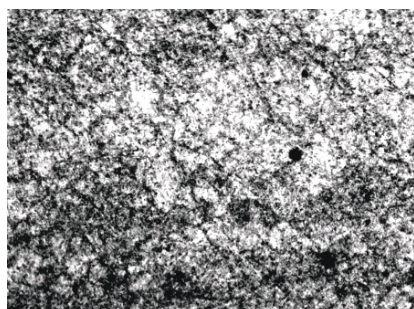


Рис. 8. Мікροструктура сталі 4X5MФ1С після загартування від 1070°C і відпущеної при 400 ° – 420 °C (1 відпуск), 380° –400 °C (2 відпуск) (троостит відпуску), *500

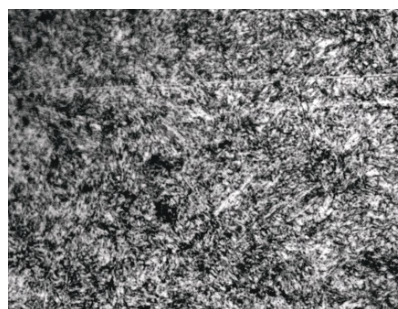


Рис. 9. Мікροструктура сталі 4X5MФ1С після загартування від 1070 °C і відпущеної при 530° – 550 °C (1 відпуск), 500° –530 °C (2 відпуск) мартенсит відпущений та карбіди), *500

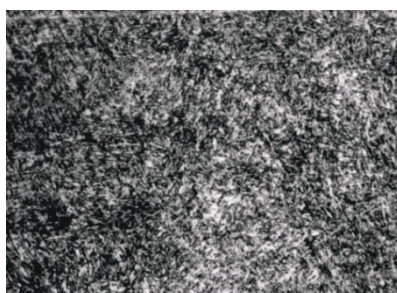


Рис. 10. Мікροструктура сталі 4X5MФ1С після загартування від 1070 °C і відпущеної при 550°– 570 °C (1 відпуск), 530° – 550 °C (2 відпуск) (мартенсит відпущений та карбіди), *500

Видно, що відпуск при 300 – 350°C знижує твердість через виділення з мартенситу цементитного карбіду. Відпуск при температурах порядку 500 – 550°C створює вторинну твердість, внаслідок дисперсійного твердіння. У молібденових сталях на цій стадії виділяються карбіди $Me_{23}C$ і Me_6C . При подальшому підвищенні температури підсилюється коагуляція карбідів, що веде до зниження твердості [6, с.112].

Залежність твердості сталі від температури відпуску показано на рис. 11.

Зносостійкість інструментальної сталі, тобто здатність її протистояти різним видам зношування поверхні, є характеристикою довговічності

інструмента. Зношування супроводжується не тільки фізичним руйнуванням робочого шару й втратою маси металу, але і його пластичним деформуванням. У результаті обох процесів змінюються форма й розміри робочих крайок [8, с. 144].

Таким чином, зносостійкість дуже складна властивість. Вона визначається не тільки хімічним складом, структурою й механічними властивостями, але й властивостями оброблюваного матеріалу, умовами експлуатації інструмента, його конструкції і т. д. Останні визначають характер зношування: абразивний, адгезійний, ерозійний, дифузійний і ін. [9, с. 136].

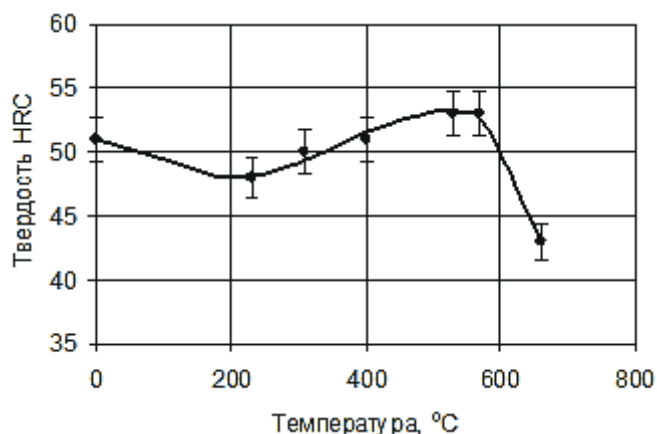


Рис. 11. Залежність твердості сталі 4X5MФ1С від температури відпуску

З причини росту аустенітного зерна зі збільшенням температури знижується в'язкість сталі, то відповідно до ДЕРЖСТАНДАРТУ 5950 – 2000 для сталі 4X5MФ1С розмір аустенітного зерна не повинен перевищувати 8 балів. Більш кращою для загартування є температура 1070 °C, тому що в цьому випадку унеможливується можливість перегріву сталі (бал аустенітного зерна 9).

Ефективним способом зміни складу поверхневого шару штампового інструмента, що забезпечують необхідний комплекс властивостей його робочої поверхні, є хіміко-термічна обробка. У результаті змінюються структура й властивості поверхневого шару, підвищуються міцність, зносо- і теплостійкість сталі шляхом утворення стійких у процесі нагрівання карбідів, нітридів, боридів і т. п. [10, с. 64].

Найпоширеніше зміцнення поверхні голок-оправок азотуванням, у результаті якого сталь здобуває високу твердість на поверхні, що не змінюється при нагріванні до 400 – 450 °C, високу опірність зношування, високі границі витривалості, корозійну стійкість. Структура, глибина й властивості азотованого шару залежать від хімічного й фазового складу сталі, а також від режимів азотування, які визначаються методом, температурою й тривалістю процесу [11, с. 67].

В основному в промисловості використовують різні процеси низькотемпературного азотування (при температурі 500 – 600 °C), що створюють високу твердість поверхні.

Низькотемпературне азотування проводять у газових або рідких середовищах. Низька температура процесу (500 – 600 °C) пов'язана з необхідністю отримати високу твердість поверхневого шару. На відміну від поверхневого загартування й цементації, при яких зміцнення досягається в результаті мартенситного перетворен-

ня, при азотуванні висока твердість поверхневого шару створюється за рахунок утворення дисперсних нітридів (особливо легуючих елементів), і азотистого твердого розчину, що супроводжується ростом мікронапруг. Підвищення температури процесу створює умови для коагуляції нітридів, при цьому твердість знижується. Через низьку температуру процес низькотемпературного азотування досить тривалий, особливо при його здійсненні в газових середовищах. У рідких середовищах і особливо при іонному азотуванні (у тліючому розряді) процес насичення значно прискорюється [13, с. 15, 14, с.156].

Газове азотування здійснювалось в шахтних герметизованих печах типу США або в камерних (ковпакових) печах. Технологічними параметрами процесу азотування є температура й тривалість насичення, склад і кількість поданих газів, ступінь дисоціації аміаку (обумовлена температурою процесу й швидкістю його подачі) [12, с. 168].

Значне (до 2 раз) прискорення азотування досягається при введенні в аміачно-водневу атмосферу кисню (4 л на 100 л аміаку), повітря, вуглекислого газу і їх сумішей.

Деталі після азотування слід прохолоджувати до 150 – 250 °C у печі або під муфелем при безперервній подачі аміаку.

Необхідні властивості пресового інструмента HRC44...51, KCU = 30...45 Дж/см² забезпечуються структурою троостита з карбідною неоднорідністю не більш 4 балу по шкалі 5 ДЕРЖСТАНДАРТ 801 [9, с. 185].

Після проведення азотування голки азотований шар на поверхні складається з нітридної зони Fe₂₃N (ε-фаза) і Fe₄N (γ-фаза) і підшару азотистого фериту (α-фаза), в якому при охолодженні виділяються нітриди хрому, молібдену, алюмінію (рис. 12, 13). Графік термічної обробки голки наведений на рис. 14.

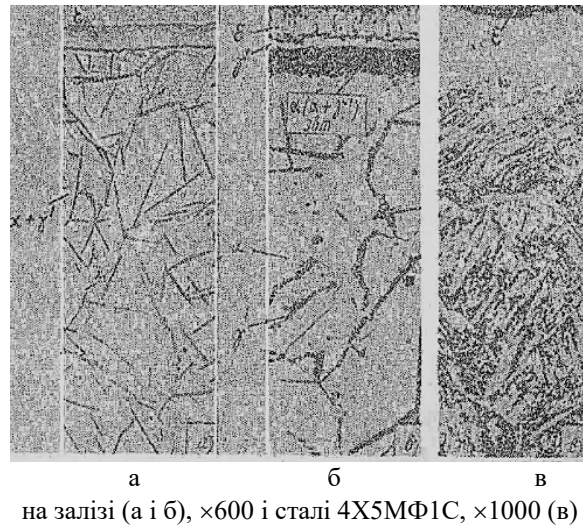


Рис. 12. Мікроструктура азотованого шару [10, с. 114]

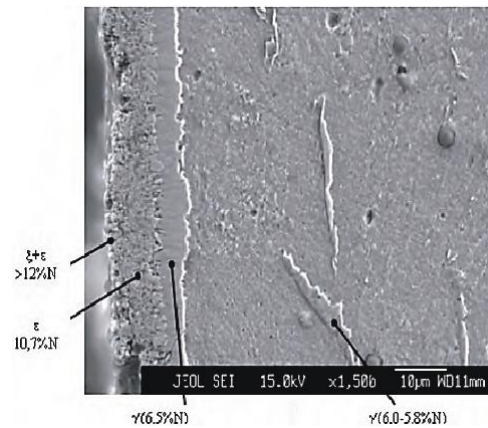


Рис. 13. Азотований шар при електронному дослідженні, $\times 1500$, [11, с. 95]

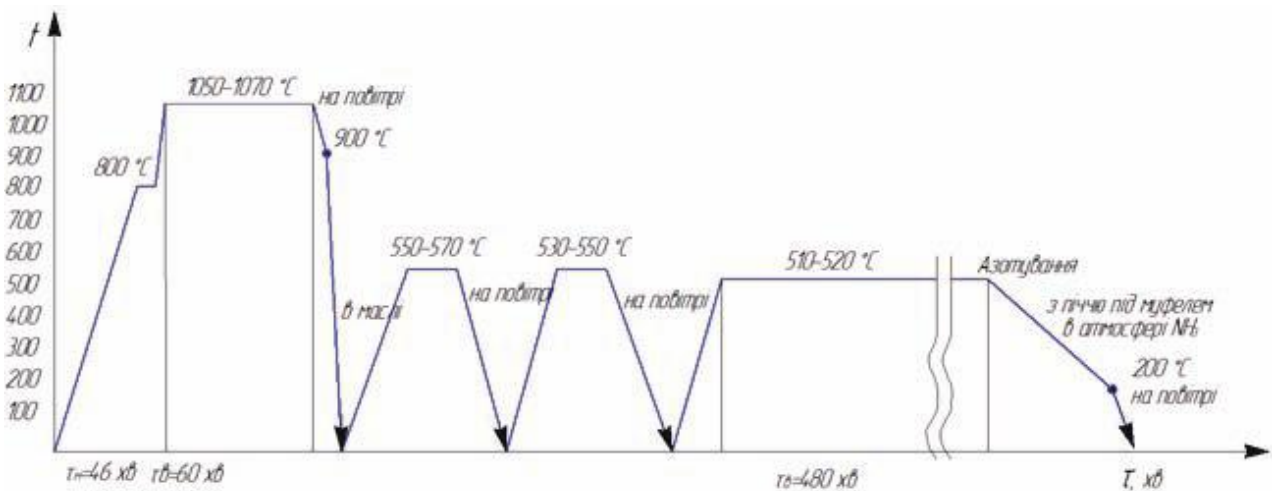


Рис. 14. Графік термічної обробки голки-оправки зі сталі 4X5MФ1С

В заводських умовах традиційна технологія термозміцнення голок представляє собою загартування з наступним трикратним відпуском для отримання твердості 54 – 55 HRC. Запро-

понована технологія термозміцнення виключає третій відпуск і додатково використовує азотування голок з метою зміни структури й властивостей поверхневого шару, підвищення міцнос-

ті, зносо- і теплостійкості сталі шляхом утворення стійких у процесі нагрівання карбідів, нітридів, боридів і т. п.

В результаті сталь здобуває високу твердість на поверхні HRC 71 – 72, що не змінюється при нагріванні до 400 – 450 °С, високу опірність зношуванню, високі границі витривалості, корозійну стійкість.

Висновки. 1. Удосконалення технології термічної обробки голки-оправки (загартування з відпуском і послідовним азотуванням замість звичайної технології – загартування з відпуском) дозволить збільшити стійкість пресового інструменту на 30 % та знизити витрати по переробці виготовлення труб, а також покращити якість внутрішньої поверхні труб (відсутність плівок, порізів та інших дефектів неіржавіючих труб).

2. Використання іонного азотування в плазмі тліючого розряду значно скорочує загальний час процесу (в 2 – 3 рази) і підвищує якість азотованої зони.

Бібліографічний список

1. Гуляев Г. И., Притоманов А. Е., Дробич О. П., Верховод В. К. Прессование стальных труб и профилей : учебник. Москва : Metallurgiya, 1973. 192 с.
2. Геллер Ю. А. Инструментальные стали. Москва : Metallurgiya, 1968. 568 с.
3. Шерба В. Н., Райтбарг Л. Х. Технология прессования металлов. Москва : Metallurgiya, 1995. 153 с.
4. Гуляев А.П. Металловедение : Учебник для вузов / А.П. Гуляев. – М.: Metallurgiya, – 1986. – 542 с.
5. Позняк Л. А., Скрынченко С. И. Штамповые стали. Москва : Metallurgiya, 1980. 244 с.
6. Артингер И. Инструментальные стали и их термическая обработка. Москва : Metallurgiya, 1982. 312 с.
7. Манегин Ю. В., Притоманов А. Э., Шмиттель Т. Горячее прессование труб и профилей. Москва : Metallurgiya, 1980. 272 с.
8. Металловедение и термическая обработка стали: справочник. Т. 1. Методы испытаний и исследования / под ред. М. Л. Бернштейна, А. Г. Рахштадта. – Москва : Metallurgiya, 1983. 367 с.
9. Башнин Ю. А., Ушаков Б. К., Секей А. Г. Технология термической обработки стали. Москва : Metallurgiya, 1986. 386 с.
10. Химико-термическая обработка металлов и сплавов : справочник / под ред. Л. С. Ляховича. Москва : Metallurgiya, 1981. 420 с.

11. Александров В. А., Богданов К. В. Азотирование инструмента из высокохромистых и быстрорежущих сталей. *Упрочняющие технологии и покрытия*. 2005. № 5. С. 14–20.

12. Масленков С. Б., Масленкова Е. А. Стали и сплавы для высоких температур. Кн. 1. Москва : Metallurgiya, 1991. 383 с.

13. Арзамасов Б. Н., Братухин А. Г., Елисеев Ю. С., Панайоти Т. А. Ионная химико-термическая обработка сплавов в газовых средах. Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. 400 с.

14. Новые идеи о механизме образования структуры азотированных сталей / С.А. Герасимов и др. *MuTOM*. 2004. №1. С. 13–17.

References

1. Guliaev, G. I., Pritomanov, A. E., Drobich, O. P., & Verkhovod, V. K. (1973). *Pressovanie stalnykh trub i profilei*. Moskva: Metallurgiya.
2. Geller, Yu. A. (1968). *Instrumentalnye stali*. Moskva: Metallurgiya.
3. Sherba, V. N., & Raitbarg, L. Kh. (1995). *Tekhnologiya pressovaniia metallov*. Moskva: Metallurgiya.
4. Guliaev, A. P. (1986). *Metallovedenie*. Moskva: Metallurgiya.
5. Pozniak, L. A., & Skrynchenko, S. I. (1980). *Shtampovye stali*. Moskva: Metallurgiya.
6. Artinger, I. (1982). *Instrumentalnye stali i ikh termicheskaia obrabotka*. Moskva: Metallurgiya.
7. Manegin, Yu. V., Pritomanov, A. E., & Shmittel, T. (1980). *Goriachee pressovanie trub i profilei*. Moskva: Metallurgiya.
8. Bernshtein, M. L., & Rakhshadt, A. G. (Eds.). (1983). *Metallovedenie i termicheskaia obrabotka stali. Vol. 1. Metody ispytaniia i issledovaniia*. Moskva: Metallurgiya.
9. Bashnin, Yu. A., Ushakov, B. K., & Sekei, A. G. (1986). *Tekhnologiya termicheskoi obrabotki stali*. Moskva: Metallurgiya.
10. Liakhovich, L. S. (1981). *Khimiko-termicheskaia obrabotka metallov i splavov*. Moskva: Metallurgiya.
11. Aleksandrov, V. A., & Bogdanov, K. V. (2005). Azotirovanie instrumenta iz vysokokhromistykh i bystrorezhushchikh stalei. *Uprochniiaishchie tekhnologii i pokrytiia*, (5), 14-20.
12. Maslenkov, S. B., & Maslenkova, E. A. (1991) *Stali i splavy dlia vysokikh temperatur*. Vol. 1. Moskva: Metallurgiya.
13. Arzamasov, B. N., Bratukhin, A. G., Eliceev, Yu. S., & Panaioti, T. A. (1999). Ionnaia khimiko-termicheskaia obrabotka splavov v gazovykh sredakh. Moskva: MGTU im. N. E. Baumana.

14. Gerasimov, S. A. et al. (2004). Novye idei o mekhanizme obrazovaniia struktury azotirovaniykh stalei. *MiTOM*, (1), 13-17.

Цель. Целью исследования является усовершенствование технологии термической обработки основного трубопрессового инструмента – иглы-оправки для прессования нержавеющей труб на трубопрофильных прессах для дальнейшего выбора оптимальных режимов термоупрочнения.

Методика. Для проведения исследования с поковок диаметром 250 мм были вырезаны образцы размером 1010×55 мм и подвергнуты окончательной термической обработке в цеховых условиях при разных температурных режимах закалки, отпуска и химико-термической обработки. Изготовление микрошлифов сводилось к выполнению следующих операций: шлифование, полирование и травление. Проведено микроструктурный анализ образцов и определена твердость после разных режимов термической обработки.

Результаты. Построены и исследованы графики зависимости твердости образцов от температуры закалки, отпуска, предложенный оптимальный режим газового азотирования (что подтвердилось результатами замеров твердости) для получения высоких эксплуатационных свойств трубопрессового инструмента и получения необходимого балла зерна, проведено исследование структуры азотированного слоя (микроструктурное и электронное). Результатом работы есть разработка оптимального режима термоупрочнения инструмента (иглы-оправки) (закалка с двухкратным отпуском и последующим азотированием вместо традиционного режима – закалки с трехкратным отпуском), что повышает прочность, износо- и теплостойкость стали путем образования стойких в процессе нагревания карбидов, нитридов, боридов и т.д. В результате сталь приобретает высокую твердость на поверхности HRC 71-72, которая не изменяется при нагревании до 400 – 500 °С, высокое сопротивление изнашиванию, высокие границы долговечности, коррозионную стойкость.

Научная новизна. Впервые научно обоснованный выбор более эффективного режима термоупрочнения трубопрессового инструмента (с проведением микроструктурных исследований), что позволяет его использовать в реальных условиях производства нержавеющей труб на трубных предприятиях «ЧАО Сентравис Продакшн Юкрейн», «ООО ПО Оскар» и др.

Практическая ценность. Усовершенствование технологии термической обработки иглы-оправки (закалка с отпуском и последующим азотированием вместо обычной технологии – закалки с отпуском) позволит увеличить стойкость прессового инструмента на 30 % и уменьшить расходы по переделу при изготовлении нержавеющей труб, а также улучшить качество внутренней поверхности труб (отсутствие пленок, порезов и других дефектов нержавеющей труб).

Ключевые слова: игла-оправка, термическая обработка, газовое азотирование, ионное азотирование, закалка, отпуск, термоупрочнение.

Purpose. The aim of the study is to improve the technology of heat treatment of the main pipe-press tool - needle-mandrel intended for pressing corrosion-proof pipes on pipe-shaped presses for further selection of the optimum modes of thermal strengthening.

Methods. For this research specimens of size 10×10×55 mm were cut from 250 mm diameter forgings and subjected to final heat treatment at different temperatures of tempering, tempering and chemical-thermal treatment in workshop conditions. The production of micro sanding was reduced to the following operations: grinding, polishing and etching. The microstructural analysis of the samples was carried out and the hardness after different heat treatment modes was determined.

Results. Graphs of hardness dependence of samples on temperature of tempering and release are constructed and investigated, the optimal mode of gas nitriding is proposed (which is confirmed by the results of hardness measurements) to obtain high performance properties of the pipe press tool and to obtain the required grain score, the structure of the nitrated layer (microstructural and electronic) was investigated. The result of the work is the development of the optimal mode of thermal strengthening of the tool (needle-mandrel) (double-tempering and subsequent nitriding instead of traditional mode – three-tempering), which increases the strength, endurance and heat resistance of steel by the formation of carbides, nitrides, borides and the like in the process of heating. As a result, the steel has a high hardness on the surface of HRC 71 – 72, which does not change when heated to 400 – 450 °С, high wear resistance, high endurance limits, corrosion resistance.

Originality. For the first time, the choice of a

more effective mode of thermal strengthening of the pipe-press tool is scientifically substantiated (with the help of microstructural studies) that allows it to be used in the real world of corrosion-proof pipes production at the pipe companies of «PJSC CentraVis Production Ukraine», «LLC OO Oscar» and others.

Practical implications. *The perfection of the needle-mandrel heat treatment technology (tempering with tempering and subsequent nitriding instead of conventional technology of tempering*

with tempering) will increase the resistance of the press tool by 30 % and reduce the cost of processing the manufacture of stainless steel pipes, as well as can improve the quality of the inner surface of the pipes (absence of pellicles, cuts and other defects of corrosion-proof pipes).

Key words: *needle-mandrel, pressing, heat treatment, gas nitriding, ion nitriding, tempering, release, thermal strengthening.*

Рукопис надійшов 11.11.2019