

Термічна обробка виливків з використанням тепла ливарного нагріву

С. Є. Кондратюк, доктор технічних наук, професор, завідувач відділу

В. І. Вейс, провідний інженер, nikusik123@yandex.ru

Ж. В. Пархомчук, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

На прикладі сталі Р6М5Л розглянуто можливості зміцнювальної термічної обробки (гартування, нормалізація) і відпалювання інструменту, виготовленого за технологією кокільного лиття з використанням тепла ливарного нагріву. Для цього інструментальну швидкорізальну сталь Р6М5Л розливали від температури 1570 °С у мідний водоохолоджуваній і чавунний кокілі, які забезпечували можливість отримання виливків діаметром 40 мм і висотою 180 мм. Виходячи з того, що вказані режими термічної обробки пов'язані з багатогодинним ступінчастим нагрівом до високих температур, запропоновано виливок за певної температури вилучати з ливарної форми і охолоджувати за стандартними режимами гартування, нормалізації чи відпалювання. Потрібну температуру виливків сталі визначали за експериментально побудованими кривими охолодження у певний момент часу. Встановлено, що твердість виливків, що кристалізувались у мідному водоохолоджуваному кокілі при швидкості охолодження 350 °С/с і при 45 °С/с у чавунному кокілі становили після гартування від 1240 °С 63 HRC і 62 HRC відповідно. Зниження температури вилучення виливків в інтервалі 1240-900 °С супроводжується зниженням твердості сталі до 55 HRC при гартуванні і до 50 HRC при нормалізації. При відпалюванні зливки вилучали з кокілю при 880–900 °С і обробляли за режимами безперервного охолодження із забезпеченням твердості 27 HRC і 25 HRC виливків, закристалізованих у мідному водоохолоджуваному і чавунному кокілях; за умов ізотермічного відпалу твердість становила відповідно 22 HRC і 21 HRC; за умов циклічного відпалу – 23 HRC і 21 HRC відповідно. Результати досліджень дозволяють скоротити тривалість і знизити собівартість операцій термічної обробки литих виробів із швидкорізальної сталі.

Ключові слова: термічна обробка, відпал, литий інструмент, швидкорізальна сталь.

Фазово-структурний стан і властивості швидкорізальної литої сталі суттєво залежать від температури її нагріву перед гартуванням. Це пов'язано з тим, що при гартуванні її від звичайної температури (на 40-50 °С вище критичної точки A_{C3}) в аустеніті розчиняються лише евтектоїдні карбіди цементитного типу. Заевтектоїдні спеціальні карбіди при цьому не розчиняються і в твердому розчині міститься мало вуглецю (менше 0,2 %). Тому сталь, загартована від цих температур, не забезпечує потрібної високої твердості інструменту. Чим вища температура нагріву сталі перед

гартуванням, тим більше спеціальних карбідів вольфраму, хрому, молібдену і ванадію розчиняється в аустеніті, який відповідно більше насичується вуглецем і легуючими елементами. Це зумовлює зниження критичної швидкості гартування і здатність сталі до гартування при охолодженні на повітрі. С підвищенням температури аустенітизації сталі перед гартуванням знижуються також температури початку і кінця мартенситного перетворення, дещо збільшується кількість залишкового аустеніту в структурі сталі.

Зазвичай швидкорізальну сталь типу Р6М5Л перед гартуванням нагрівають на 400-500 °С вище температури критичної точки, тобто до 1200-1250 °С. При цьому у зв'язку із низькою теплопровідністю сталі для уникнення значних термічних напружень і утворення тріщин нагрів сталі до температур 820-840 °С здійснюють повільно, а при більш високих температурах, коли сталь переходить в аустенітний стан і стає пластичнішою, навпаки швидко для запобігання росту зерна і знеуглецювання поверхні виробів. Отже кінцева термічна зміцнююча обробка швидкорізальної сталі є складним технологічним процесом, пов'язаним з тривалим багатогодинним високотемпературним ступінчастим нагрівом, який потребує значних енергетичних витрат і спеціального устаткування [1-3].

Застосування технології кокільного лиття з інтенсивним і регульованим тепловідбором при кристалізації сталевих виливків відкриває нові можливості щодо розроблення економічно доцільних і перспективних режимів термічної обробки литих виробів з використанням тепла ливарного нагріву. При цьому виливки інструменту або інших деталей простої форми, що не потребують механічної обробки і, відповідно, відпалювання можуть піддаватись гартуванню або нормалізації після вилучення їх у визначений момент з ливарної форми без спеціального нагріву до температури аустенітизації. Для цього виливок за певної температури визначеної за спеціально побудованою кривою охолодження, виймають з кокіля і охолоджують з потрібною швидкістю у маслі чи на повітрі. Зрозуміло, що кінцева структура і властивості виливків будуть визначатись температурою нагріву під гартування чи нормалізацію, а також тими перетвореннями, які встигли відбутись до вилучення виливка з кокілю (виділенням карбідів, їх розмірами, формою та розподілом у структурі, ступенем легованості аустеніту), положенням даної температури і даного часу охолодження відносно інкубаційного періоду тощо.

Для дослідження нових можливостей термічної обробки литих виробів швидкорізальну сталь Р6М5Л розливали від температури 1570 °С у мідний водоохолоджуваний і чавунний кокілі. Через певний час виливки діаметром 40 мм і висотою 180 мм вилучали з ливарної форми для здійснення подальших операцій термічної обробки. Для визначення потрібної температури виливків у кожний певний момент часу експериментально заздалегідь визначали температуру виливка і одержали графіки її зміни у часі (рис. 1). У відповідності з ними виливки вилучали з мідного водоохолоджуваного ($V_{ox} = 350 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{c}$) і чавунного ($V_{ox} = 45 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{c}$) кокілів за різних температур в інтервалі 1250-1040 °С. Гарячі виливки охолоджували в маслі (гартування) або на повітрі (нормалізація).

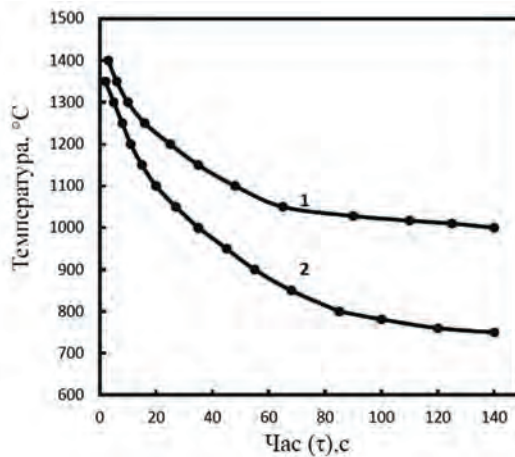


Рис. 1. Температура виливків сталі Р6М5Л залежно від часу їх вилучення з чавунного (1) і мідного водоохолоджувача (2) кокілів

Встановлено, що мала дифузійна рухливість елементів у високолегованому аустеніті сталі Р6М5Л, сповільнений процес виділення надлишкових карбідів і гальмування поліморфних перетворень забезпечують твердість загартованих виливків від температури 1240 °C 63 HRC (мідний водоохолоджувачий кокіль) і 62 HRC (чавунний кокіль). Твердість нормалізованих зразків виливків дорівнювала відповідно 61 HRC і 60 HRC. Вилучення виливків з ливарної форми за нижчих температур супроводжується зниженням твердості сталі після гартування або нормалізації (рис. 2).

Загартована з ливарного нагріву структура сталі більш дрібнозерниста порівняно із структурою, отриманою після нормалізації. Зниження температури, за якої вилівок видаляють з кокілю з наступним гартуванням чи нормалізацією сприяє збереженню в структурі елементів дендритної будови тим більше, чим нижчою була температура термічної

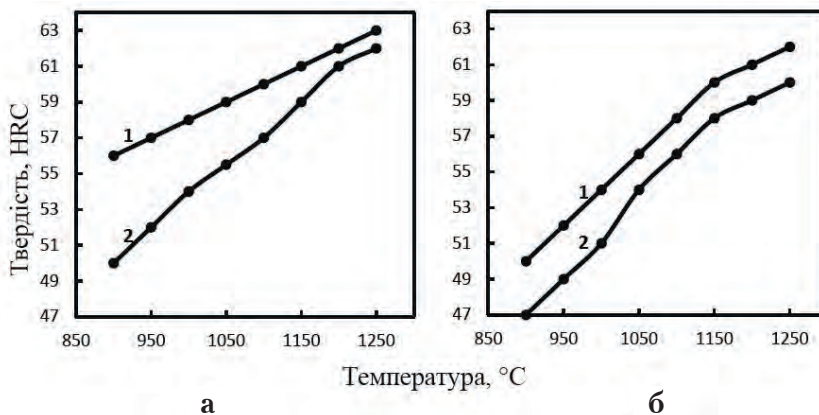


Рис. 2. Вплив температури вилучення виливка з ливарної форми на твердість сталі Р6М5Л після гартування (а) і нормалізації (б) з використанням тепла ливарного нагріву. 1 – мідний водоохолоджувачий кокіль, 2 – чавунний кокіль.

обробки (рис. 3, 4). Зниження інтенсивності тепловідбору в кокілі під час кристалізації сталі, зниження швидкості охолодження при термічній обробці зумовлює збільшення кількості троосто-мартенситу у структурі (за рахунок зменшення кількості мартенситу) і зменшення кількості залишкового аустеніту. Тому при використанні тепла ливарного нагріву слід керуватись загальновідомим правилом гартування швидкорізальної сталі від максимально допустимих високих температур. Проте потрібна твердість швидкоохолодженої під час кристалізації сталі може бути забезпечена при гартуванні від температур нижчих порівняно з прокатом сталі Р6М5. За умов використання при гартуванні литої сталі високих температур ливарного нагріву не слід остерігатись збереження у структурі дещо більшої

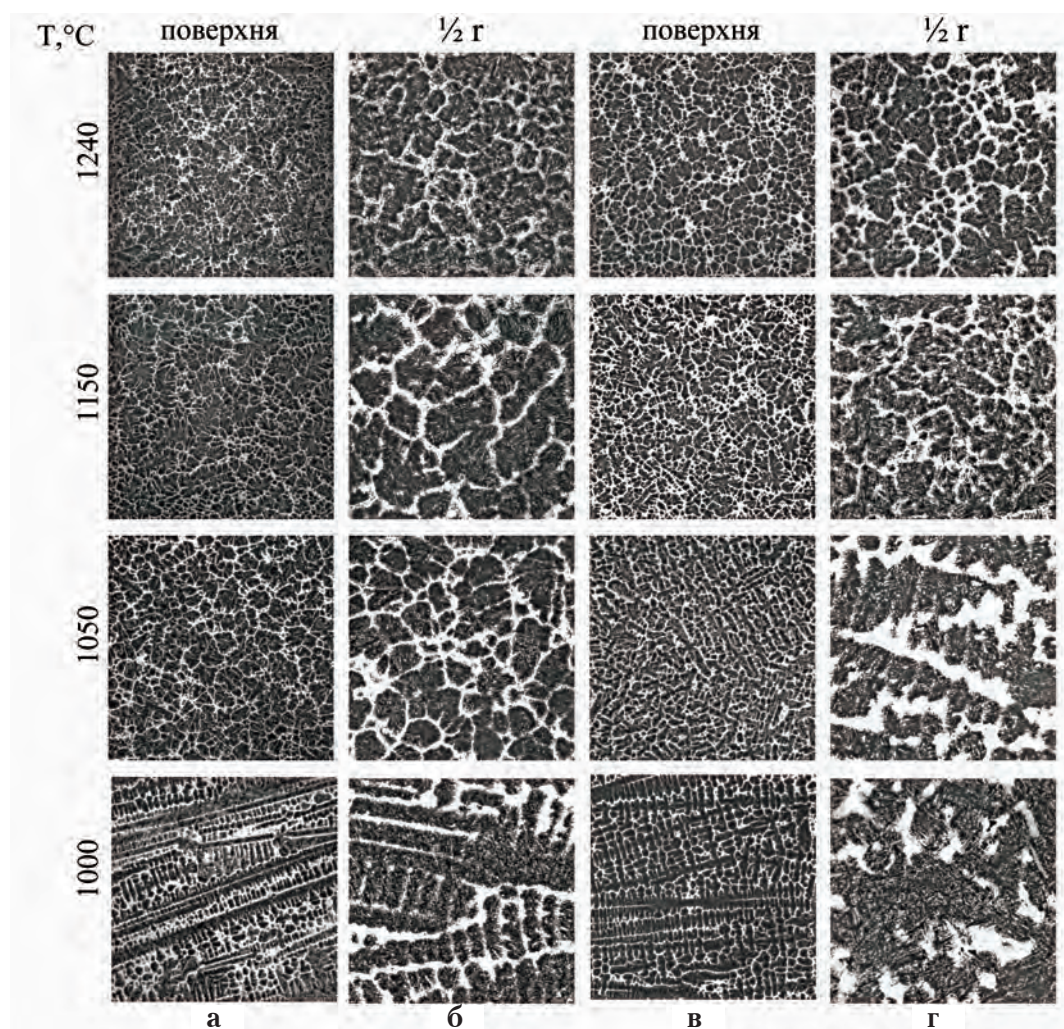


Рис. 3. Структури виливків сталі Р6М5Л після гартування з ливарного нагріву. а, б – швидкість охолодження при кристалізації $V_{ох} = 350 \text{ }^{\circ}\text{C/s}$; в, г – $V_{ох} = 45 \text{ }^{\circ}\text{C/s}$. $\times 400$.

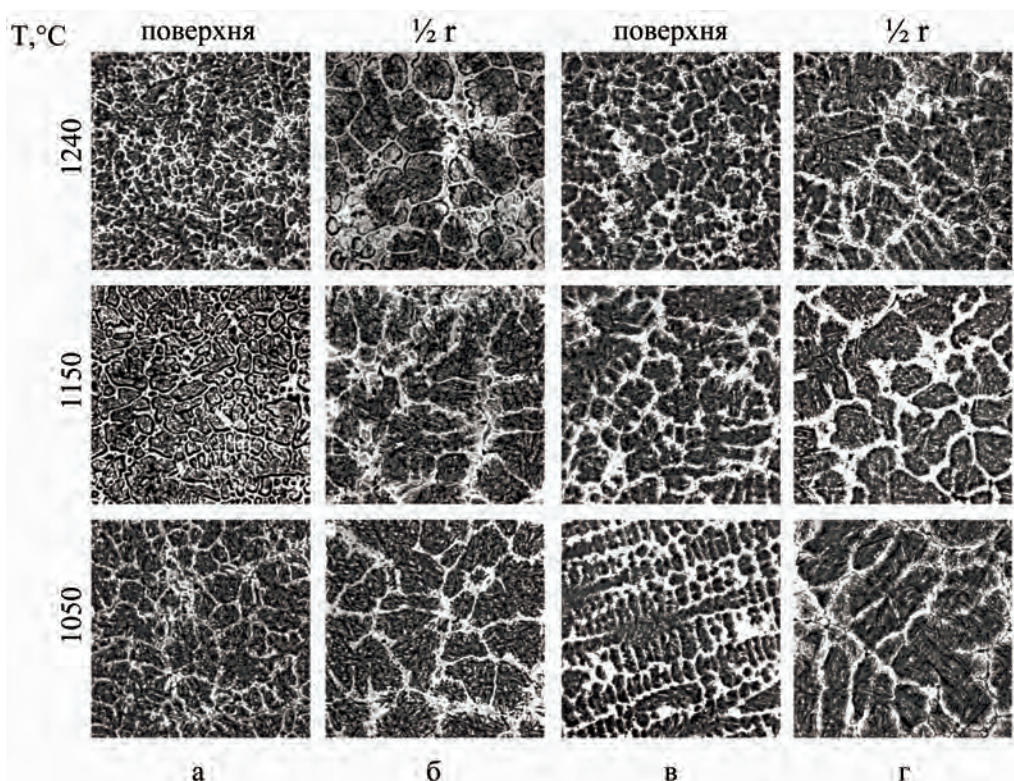


Рис. 4. Структури виливків сталі Р6М5Л після нормалізації з ливарного нагріву. а, б – швидкість охолодження при кристалізації $V_{ox} = 350 \text{ }^{\circ}\text{C/s}$; в, г – $V_{ox} = 45 \text{ }^{\circ}\text{C/s}$. $\times 400$.

кількості залишкового аустеніту, який є невід'ємною структурною складовою загартованої швидкорізальної сталі. Наступні операції відпуску або обробки холодом дозволяють позбутись його і підвищити твердість інструмента на 2–3 HRC [4-6].

Досліджено також можливість проведення відпалу з використанням тепла ливарного нагріву. Виходячи з відповідної тривалості охолодження вилівка у ливарній формі зразки вилучали з кокілю при температурах 880-900 °C і переносили у термічну піч, нагріту до потрібної температури відпалювання.

В разі відпалювання з використанням безперервного охолодження з піччю до кімнатної температури із середньою швидкістю 40 °C/год. реалізується можливість зниження твердості сталі до 27 HRC і 25 HRC для виливків, закристалізованих у мідному і чавунному кокілях, відповідно.

Після ізотермічного відпалювання при 750 °C протягом 5 годин одержано менше значення твердості 22 HRC (мідний кокіль) і 21 HRC (чавунний кокіль).

При проведенні циклічного відпалювання (два цикли нагрівання і охолодження) твердість зразка відлитого в мідному кокілі становила 23 HRC, а в чавунному – 21 HRC.

Відзначимо, що після проведених операцій гартування і нормалізації не виявлено термічних тріщин. Проте при розрізанні зразків абразивними дисками подекуди тріщини спостерігались внаслідок значних термічних напружень. Проведення операції відпуску запобігає тріщиноутворенню а також є обов'язковим для завершення твердофазних перетворень і релаксації термічних напружень.

Проведені дослідження дозволяють розширити коло технологічних процесів, які відкривають можливість скоротити загальну тривалість термічної обробки виливків швидкорізальної сталі і зменшити кількість технологічних операцій при цьому. Реалізація режимів термічної обробки з використанням тепла ливарного нагріву дозволяє також розширити номенклатуру виробів, які виготовляються за технологіями кокільного лиття.

Література

1. Геллер Ю. А. Инструментальные стали М.: Металлургия, 1951. – 510 с.
2. Позняк Л. А. Инструментальные стали Киев: Наук. думка, 1996. – 487 с.
3. Тилкин М.А. Справочник термиста ремонтной службы. – М.: Металлургия, 1981. – 648с.
4. Бялик О.М., Черненко В.М., Писаренко., В.М., Москаленко Ю.Н. Металознавство. – Київ: Політехніка, 2001. – 375 с.
5. Гуляев А. П. Металловедение. – М.: Металлургия, 1977. – 647 с.
6. Ле Тхань Бинь, Болотов В. И., Нгуен Кхак Линь Влияние обработки холодом на механические свойства и износостойкость материалов // Горный информационный аналитический бюллетень. – 2017. – № 12. – 12 с.

References

1. Geller Yu.A. *Instrumentalnyye stali (Tool steels)*, Moskow: Metallurgiya, 1951, 510 p. [in Russian].
2. Poznyak L.A. *Instrumentalnyye stali (Tool steels)*, Kiyev: Nauk. dumka, 1996, 487 p. [in Russian].
3. Tilkin M.A. *Spravochnik termista remontnoy sluzhby (Reference thermist repair service)*, Moskow: Metallurgiya, 1981, 648p. [in Russian].
4. Byalyk O.M., Chernenko V.M., Pysarenko., V.M., Moskalenko Yu.N. *Metaloznaustvo (Metal Science)*, Kyiv: Politekhnik, 2001, 375 p. [in Ukrainian].
5. Gulyayev A. P. *Metallovedeniye (Metallurgy)*, Moskow: Metallurgiya, 1977, 647 p. [in Russian].
6. Le Tkhan Bin, Bolobov V. I., Nguyen Kkhak Lin, *Gornyy informatsionnyy analiticheskiy byullyuten*, 2017, No. 12, 12 p. [in Russian].

Одержано 03.02.20

S.Ye. Kondratyuk, V.I. Veis, Z.V. Parkhomchuk

Heat treatment of castings using foundry heat

Summary

On the example of R6M5L steel, the possibilities of hardening heat treatment (hardening, normalization) and annealing of an instrument made by the technology of chill casting using casting heat are considered. For this purpose, tool-cutting steel P6M5L was poured from a temperature of 1570 °C into copper water-cooled and cast iron molds, which provided the possibility of receiving castings with a diameter of 40 mm and a height of 180 mm. Based on the fact that these heat treatment modes are associated with many hours of stepwise heating to high temperatures, it is proposed to extract the casting at a certain temperature from the mold and cool it according to standard hardening, normalization, or annealing modes. The desired temperature of steel castings was determined by experimentally constructed cooling curves at a certain point in time. The desired temperature of steel castings was determined by experimentally constructed cooling curves at a certain point in time. It was found that the hardness of castings that crystallized in a water-cooled copper chill mold at a cooling rate of 350 °C/sec and at 45 °C/sec in a cast iron chill mold, after quenching from 1240 °C, was 63 HRC and 62 HRC, respectively. A decrease in casting extraction temperature in the range 1240 – 900 °C is accompanied by a decrease in steel hardness to 55 HRC during quenching and to 50 HRC during normalization. During annealing, the ingots were removed from the chill mold at 880 – 900 °C and processed according to the continuous cooling modes providing hardness of castings 27 HRC and 25 HRC crystallized in a water-cooled copper and cast iron chill molds; under isothermal annealing, the hardness was 22 HRC and 21 HRC, respectively; under cyclic annealing, 23 HRC and 21 HRC, respectively. The research results can reduce the duration and reduce the cost of heat treatment operations of cast products from high speed steel.

Keywords: thermal treatment, annealing, cast tool, high-speed steel.