

воздействие представляет собой способ локального изменения структуры включений в поверхностных оплавленных слоях, а также свойств поверхности неметаллических включений.

S. I. Gubenko, V. N. Bespalko, I. A. Nikulchenko

The peculiarities of speed melting and solidification of non-metallic inclusions under laser treatment of steel

Summary

The peculiarities of melting and crystallization of non-metallic inclusions in contact with steel matrix during laser treatment was investigated. It was shown that laser action is the method of local change of inclusion structure in the surface fused layers and also of the properties of non-metallic surface.

УДК 669.017.3:669.15

Використання термоциклічної обробки під час кристалізації для подрібнення структурних складових інструментальних сталей

Н. М. Федоркова, кандидат технічних наук
О. А. Балакін

Національна металургійна академія України, Дніпро

Досліджено можливість використання високотемпературної термоциклічної обробки під час кристалізації сталі з надшвидким гартуванням від температур нижче перитектичного перетворення для подрібнення зерен аустеніту та карбідних пластин в інструментальних швидкорізальних сталях для зниження енерговитрат при подальшій термічній обробці. Встановлений вплив кількості циклів ВТЦО на розміри та кількість карбідів в сталі Р6М5.

Дана робота присвячена дослідженню впливу термоциклування на процеси структуроутворення в швидкорізальних сталях на прикладі сталі Р6М5 при кристалізації, а також особливостей структури сталі Р6М5 після термоциклування з різною тривалістю ізотермічних витримок та кількістю циклів [1]. Формування у швидкорізальній сталі однорідної подрібненої структури ще на етапі її твердіння створює необхідні передумови не тільки для значного підвищення механічних і функціональних властивостей інструментального матеріалу, а й для суттєвої економії енергоносіїв під час термічної обробки інструменту та зниження його собівартості.

Тому для дослідних зразків були використані комбіновані режими, які включають після ізотермічної витримки в рідкому стані операцію термоцикування при температурах нижче перитектичного перетворення в інтервалі температур 1220 – 1000 °С з кінцевим надшвидким загартуванням. Застосувати такий режим стало можливим за допомогою установки для структурно-гартівних досліджень, розробленої проф. Калинушкіним Є.П. для вивчення структури в сталях і сплавах при температурах рідко-твердого стану [2, 3, 4].

Зафіксувати структурний стан при заданих температурах стало можливим завдяки надшвидкому охолодженню зразка від необхідних температур за допомогою установки для структурно-гартівного аналізу, що мала також назву „стоп-загартування” [5, 6, 7].

Метою даної роботи була оптимізація температурно-часових параметрів режиму термоцикування (рис. 1) та визначення впливу параметрів режиму ТЦО при температурах нижче перитектичної області на параметри структурних складових сталі Р6М5.

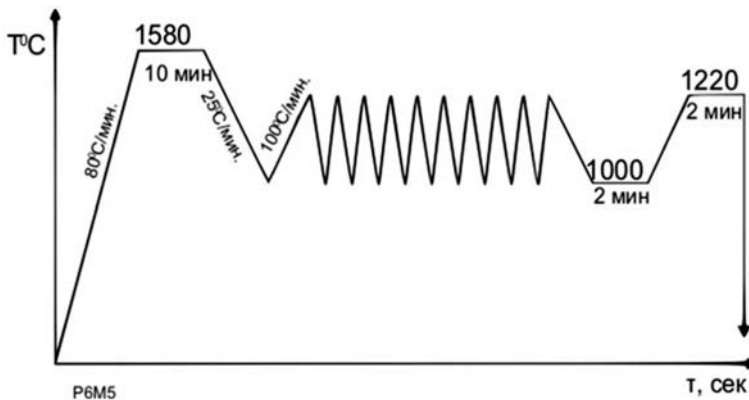


Рис. 1. Графік комбінованих режимів кристалізації: ізотермічна витримка при 1580°C + твердіння + ВТЦО (10 циклів) + гартування – для сталі Р6М5.

Кількість циклів при ВТЦО складала: 1, 3, 5 і 10 з ізотермічними витримками 1 і 2 хв та без них. Після завершення ТЦО зразки піддавали гартуванню від температури 1220 °С. Як показали металографічні дослідження, структура зразків має чітко виражену дендритну будову, а зі збільшенням кількості циклів структура набуває дендритно-комірчастої будови. Структура достатньо рівномірна за розмірним параметром зерен, що підтверджує наше припущення, щодо позитивного впливу ізотермічної витримки в 10 хвилин при температурі рідкого стану 1580 °С перед проведенням кристалізації та ВТЦО (рис. 2 – 4).

Карбідна складова після ТЦО сталі має різну морфологію. Після 1 циклу карбіди розташовані у вигляді суцільної крупної сітки карбідних зерен, які утворюються евтектичними колоніями у місцях розташування рідких прошарків на останній стадії твердіння. Після 3-х циклів карбіди набули пруткоподібну форму і розташовані в матриці у вигляді розірваної сітки по границях аустенітних зерен.

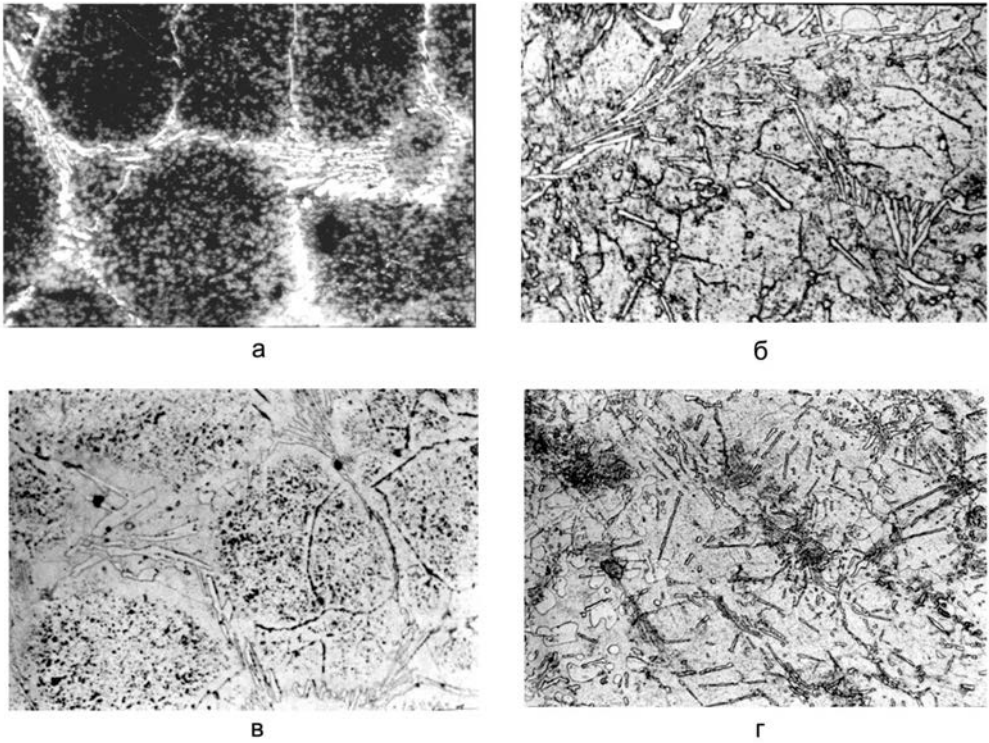


Рис. 2. Мікроструктура сталі Р6М5 після ВТЦО з ізотермічними витримками по 2 хвилини і різною кількістю циклів: а – 1, б – 3, в – 5, г – 10 циклів, х 500.

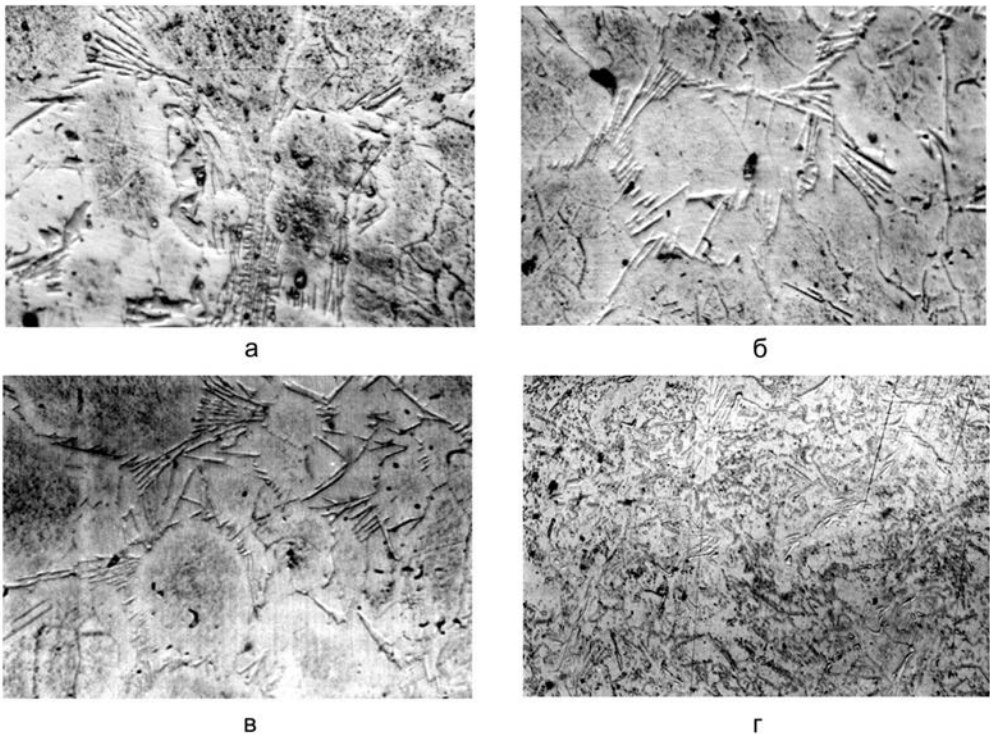


Рис. 3. Мікроструктура сталі Р6М5 після ВТЦО з ізотермічними витримками по 1 хвилині і різною кількістю циклів: а – 1, б – 3, в – 5, г – 10 циклів, х 500.

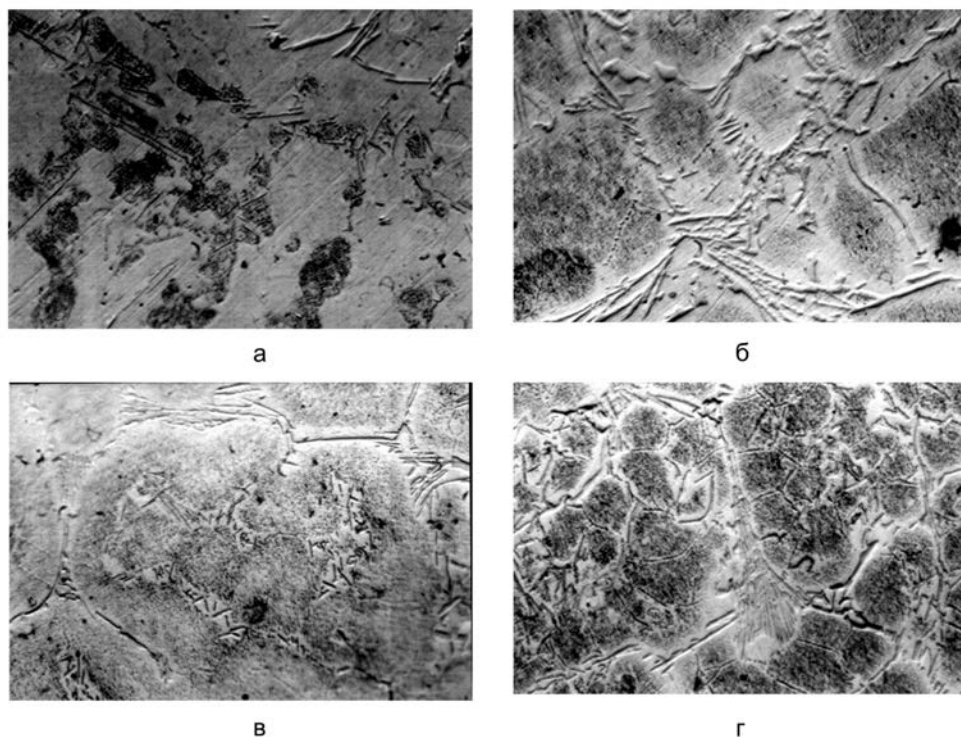


Рис. 4. Мікроструктура сталі Р6М5 після ВТЦО без ізотермічних витримок і різною кількістю циклів: а – 1, б – 3, в – 5, г – 10 циклів, х 500.

Після 5 циклів розміри евтектичних колоній збільшуються, однак зберігається їх розподіл у матриці у вигляді сітки.

Після 10 циклів ми бачимо велику кількість карбідів різного розміру і форми рівномірно розповсюджених по усьому об'ємі металу. Можна спостерігати як дрібні окремо розташовані частки карбідів, так і пластинки різної довжини, а також скупчення часток різних розмірів та форми. Карбідна сітка первинного карбідного зерна повністю відсутня чи виглядає розірваною, в структурі багато дрібних карбідів, що розташовані окремими включеннями та ланцюжками.

Також після 5 циклів спостерігаємо процес виділення вторинних карбідів з твердого розчину аустенітної матриці, з'явилися карбідні включення менших розмірів, зменшилося карбідне зерно, а відстань між карбідними пластинами збільшилася.

Кардинальні зміни відбулися в структурі після 10 циклів ВТЦО (рис. 2 г, 3 г, 4 г). З'явилося багато вторинних карбідів у вигляді окремо розташованих часток або у вигляді ланцюжків, пластини карбідів подрібнилися завдяки карбідному перетворенню, яке відбувалося завдяки багатократному нагріву та охолодженню сталі. Карбідна фаза розташована більш рівномірно в об'ємі сталі. Але бачимо, що найбільш подрібненими є карбіди після ВТЦО з тривалістю ізотермічних витримок 1 хв завдяки великій кількості вторинних дрібних карбідів, до того ж ця структура є і найбільш рівномірною.

В зразках після 2 та 1 хвилин не бачимо чітких границь зерен аустеніту, а після ВТЦО без витримок видна чітка зерниста структура з карбідною сіткою по границях зерен аустеніту. Але після витримок по 2 хв відбувається розчинення великих пластик первинних карбідів, однак мало виділяється вторинних карбідів (рис. 2 г).

Відсутність ізотермічних витримок не сприяла розчиненню великих пластин первинних карбідів в евтектичних колоніях. Тому на рис. 4 г видні як великі первинні пластинчасті карбіди, так і наддрібні вторинні карбіди усередині зерен аустеніту.

З підвищенням кількості циклів ТЦО карбіди набувають морфологію дрібних включень з підвищеною відстанню між сусідніми частками. Тобто, ми спостерігаємо карбідне перетворення в результаті ВТЦО.

Таким чином, отримані результати вказують на можливість досягти певного подрібнення структури швидкорізальної сталі ще на стадії її твердіння з рідкого стану, особливо її карбідної складової, завдяки застосуванню високотемпературної ТЦО під час кристалізації сталі.

Вперше показаний вплив ТЦО при даних температурах з різними ізотермічними витримками на механізми структуроутворення в швидкорізальній сталі, встановлено, що найбільша кількість вторинних карбідів виділилася саме після ВТЦО з витримками по 1 хвилині, що дозволило досягти підвищення вторинної твердості інструменту. Також встановлено, що максимальне подрібнення – розчинення крупних первинних і виділення дрібних вторинних карбідів – було досягнуте саме після 10 циклів ВТЦО.

Отримана структура сприятиме підвищенню твердості та зносостійкості інструментальної сталі, а застосування таких режимів на практиці дозволить отримати потрібну структуру литої інструментальної сталі ще на стадії її кристалізації, тим самим скоротити витрати на подальшу термообробку різального інструмента і знизити його собівартість.

Література

1. Федоркова Н.М., Балакин О.А., Миронова Т.М., Семенова І.О. Застосування термоциклування за температур перитектичного перетворення як спосіб подрібнення карбідних фаз у процесі кристалізації // *Металознавство та термічна обробка металів*. – ПДАБА. – 2016. – № 2. – С. 72 – 78.
2. Калинушкин Е.П. Перитектическая кристаллизация легированных сплавов на основе железа // *Днепропетровск. Пороги*. – 2007. – 171 с.
3. Калинушкин Е.П. Теория и практика управления перитектической кристаллизацией при производстве легированных сталей. Дис. доктора технических наук 05-16-01-Д. – 1991. – С. 59..
4. Опальчук А.С., Кондратюк С.Е., Али-Хатра и др.. Влияние скорости охлаждения при кристаллизации на структурообразование и свойства инструментальных сталей. // *Процессы литья*. – 1995. – № 1. – С. 69 – 73.

5. Нижниковская П.Ф., Калинушкин Е.П., Снаговский Л.М. и др. Формирование структуры быстрорежущих сталей при кристаллизации // *Металловедение. и терм. обраб. металлов.* – 1982. – № 11. – С. 23 – 30.
6. Лариков Л.Н., Кондратюк С.Є., Стоянова О.М. Структура та властивості сплавів швидко охолоджених з рідкого стану. // *Металознавство та обробка металів.* – 1996. – № 1 – 2. – С. 30 – 37.
7. Калинушкин Е.П., Балакин А.А., Федоркова Н.Н. Исследование влияния скорости охлаждения под закалку из жидко-твердого состояния на процессы структурообразования в инструментальных порошковых сталях // *МТОМ, ПДАБА.* – 2009. – № 3. – С. 24 – 37.

Одержано 05.04.17

Н. Н. Федоркова, А. А. Балакин

Використання термоциклічної обробки під час кристалізації для подрібнення структурних складових інструментальних сталей

Резюме

Исследована возможность использования высокотемпературной термоциклической обработки во время кристаллизации стали со сверхбыстрой закалкой от температур ниже перитектического превращения для измельчения зерен аустенита и карбидных пластин в инструментальных быстрорежущих сталях для снижения энергозатрат при дальнейшей термической обработке. Установлено влияние количества циклов ВТЦО на размеры и количество карбидов в стали P6M5.

N. M. Fedorkova, O. A. Balakin

Application of thermocyclic treatment during crystallization for refinement structural elements of tool steels

Summary

The paper investigates a possibility of using high-temperature thermocyclic treatment during steel crystallization with superfast quenching starting from temperatures below the peritectic transformation for reducing austenite grains and carbide plates in instrumental high-speed steels to reduce the energy losses during further heat treatment. The effect of the number of cycles of high-temperature thermocyclic treatment on the size and the number of carbides in P6M5 steel was established.