

Дьяченко Ю. Г., Федоров М. М.

(ДДМА, м. Краматорськ)

**ОПТИМАЛЬНЕ ОХОЛОДЖУЮЧЕ СЕРЕДОВИЩЕ ПРИ
ІЗОТЕРМІЧНОМУ ГАРТУВАННІ ВУГЛЕЦЕВИХ СТАЛЕЙ**

E-mail: dyachenko.yuriy.1978@gmail.com, nikolay.fyodorov@gmail.com

У результаті аналізу традиційних методів гартування з позицій термодинаміки, матеріалознавства та механіки встановлено, що визначальним параметром цього процесу є швидкість відведення тепла (охолодження), яка повинна бути надійно контрольованою для досягнення необхідних властивостей. Процес охолодження в рідких середовищах відбувається через три основні стадії: плівкове кипіння, бульбашкове кипіння та конвективний теплообмін [1]. Кожна з цих стадій безпосередньо пов'язана з термодинамікою перетворення переохолодженого аустеніту в сталі та характером діаграми ізотермічного перетворення аустеніту. Перехід від плівкового кипіння до бульбашкового називають повторним змочуванням. Змочена поверхня зберігає контакт із рідиною протягом усього процесу охолодження. При цьому спостерігається рівномірне та інтенсивне охолодження деталі, що піддається гартуванню [2]. Такий процес охолодження можна легко здійснити, використовуючи сольові розчини оптимальної концентрації, в яких досягаються максимальні критичні теплові потоки. Слід зазначити, що теплообмін (повторне змочування) спостерігається також при гартуванні в потоці води в умовах струминного і спрейєрного охолодження, а також при віброперемішуванні з резонансною частотою тощо [3].

Теплообміну зазначеного типу на поверхні загартованої деталі створюються високі стискальні напруження. У зв'язку з цим в умовах інтенсивного охолодження гартівні тріщини в деталях не утворюються. Це пов'язано з тим, що за дуже інтенсивного охолодження початкові стискаючі напруження за абсолютною величиною більші, ніж наступні розтягуючі напруження, що виникають під час розширення серцевини, тому після гартування залишаються стискаючі напруження. За помірного охолодження розтягуючі напруження, пов'язані зі збільшенням об'єму серцевини, перевищують початкові стискальні напруження,

тому на поверхні зберігаються розтягуючі залишкові напруження, що в багатьох випадках призводить до утворення тріщини [4].

Таким чином, при гартуванні в рідких середовищах на мартенсит виникають значні труднощі з регулюванням швидкостей охолодження з урахуванням діаграм ізотермічного розпаду аустеніту. Для регулювання швидкостей охолодження при гартуванні використовують різні технологічні рішення. Проводять гартування в потоці газу за високим тиском і у вакуумних печах з регулюванням швидкості охолодження додаванням зрідженого азоту.

Для отримання високої межі плинності, зменшення викривлення і виключення тріщиноутворення вироби охолоджують з температури аустенізації в декількох середовищах: у середовищі з мінімальною охолоджувальною здатністю до досягнення поверхнею виробу температури на 40–60 °C вище за температуру A_{c1} , потім у середовищі з максимальною охолоджувальною здатністю до температури поверхні виробів на 10–100 °C нижче за температуру M_p , потім у середовищі з мінімальною охолоджувальною здатністю. З метою підвищення якості загартованих деталей, завдяки забезпеченню більш рівномірного розподілу твердості по довжині деталі та зниження ступеня її залишкової деформації, після розміщення деталі у гартівній ємності прискорене охолодження досягають шляхом подачі охолоджувальної рідини з іншої ємності [5].

Ізотермічне гартування на бейніт набуло широкого застосування у промисловості з низки причин. Такий процес дозволяє замінити поліпшувальну обробку або традиційне гартування на мартенсит із подальшим високим відпуском, використовуючи лише один цикл термообробки [6, 7]. Зазвичай його здійснюють у температурному інтервалі 250–450 °C, занурюючи вироби після аустенізації в розплавлені солі чи луги. Основним недоліком цього методу є забруднення довкілля та негативний вплив на персонал. Однією з альтернатив нітратним ваннам є використання киплячого шару для ізотермічного гартування. Для заміни ізотермічного гартування в селітрових ваннах також рекомендують застосовувати суху бейнітизацію в потоці газу [8].

Отже, швидкість охолодження під час термічної обробки сталей визначається сукупністю факторів: хімічним складом сплаву, структурним станом у момент охолодження, обраним способом відведення тепла, властивостями охолоджувальних середовищ, особливостями розпаду аустеніту та низкою інших умов, які часто важко передбачити.

Найбільший вплив на режими термічної обробки сталей справляють умови охолодження після аустенізації. Це пояснюється тим, що під час охолодження формується не лише різноманітна мікроструктура, але й у процесі структурно-фазових перетворень виділяється внутрішнє тепло, яке можна використати для додаткового вдосконалення структури та властивостей сплавів. При цьому можна припустити, що ефективне використання цього тепла потребує охолоджувального середовища, здатного його акумулювати та віддавати відповідно до термодинамічної стійкості переохолодженого аустеніту. Серед відомих охолоджувальних середовищ для таких цілей може бути застосоване ГЛ-1 (ГОСТ 5279-74), яке використовується у ливарному виробництві [9]. Застосування тепла фазово-структурного перетворення дало б змогу істотно спростити і видозмінити процеси ізотермічного гартування із запровадженням нового гартівного середовища, що дасть змогу використовувати це тепло.

Література

1. Кобаско Н.И. Технологические аспекты охлаждения при закалке. *МИТОМ*. 1991. 4. С. 2-8.
2. Попов А.А., Попова Л.Е. Диаграммы превращения аустенита в сталях и бета-раствора в сплавах титана: справочник термиста. 3-е изд. М.: Металлургия. 1991. 503 с.
3. Edmonds D.V., He K., Rizzo F.C., De Cooman B.C., Matlock D.K., Speer J.G. Quenching and partitioning martensite – A novel steel heat treatment. *Materials Science and Engineering: A*. 2006. Vol. 438-440. P. 25-34. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2006.02.133>.

4. Puschmann F. Охлаждение горячего металла с помощью распыления воды в процессе закалки. *Chem. Ing. Techn.* 2003. 75. 11 С. 1625 – 1628.
5. Захаров В.Б. Шабуров Д.В., Юдин Ю.В., Пышминцев И.Ю., Эйсмонт Ю.Г. Выбор водовоздушных сред для закалки крупных поковок. *Сталь*. 2003. 3. С. 60 – 62.
6. Ranjan Ravi, Brat Singh Shiv. Isothermal bainite transformation in low-alloy steels: Mechanism of transformation. *Acta Materialia*. 2021. Vol. 202. P. 302-316. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2020.10.048>.
7. Lan Liangyun, Yu Meng, Qiu Chunlin. On the local mechanical properties of isothermally transformed bainite in low carbon steel, *Materials Science and Engineering: A*. 2019. Vol. 742. P. 442-450. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2018.11.011>.
8. Heuer V., Loser K., Ruppel J. Dry bainitizing – A new process for bainitic microstructures. *Heat Treat and Mater.* 2009. 1. С. 28 – 33.
9. Пат. 43690 Україна. Спосіб термічної обробки. Заблоцький В.К, Фельдман В.Є., Фесенко А.М., Федорінов В.А., Шимко О.І., Мелешенко І.Ю., Фесенко М.А., Корсун В.А., Шимко В.І. № U 200903360; заявл. 08.04.2009; опубл. 25.08.2009, Бюл. № 16.

Євтушенко Н. С., Василець В. О., Пономаренко О. І.

(Національний технічний університет

«Харківський політехнічний інститут», м. Харків)

**СТАТИСТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ НА ЯКІСТЬ
ЛИТВА**

E-mail: natalya0899@ukr.net

Статистичне моделювання впливу параметрів на якість литва є важливим інструментом для вдосконалення сучасних ливарних технологій. Складність процесів литва полягає у великій кількості чинників, які взаємодіють між собою та визначають кінцеві характеристики відливків. Висока температура, динаміка заливання розплаву, швидкість охолодження, хімічний склад сплавів, стан форми та інші параметри формують широкий діапазон варіацій, що безпосередньо