

УДК 621.74.02; 621.74.041; 669.13 (03)

Дорошенко В.С.¹, Коляда А.О.²

¹ д-р. техн. наук, старш. наук. співр., ФТІМС НАН України, Київ

² аспірант, ФТІМС НАН України, Київ

ДИЛАТОМЕТРИЧНИЙ АНАЛІЗ ЗРАЗКІВ ІЗОТЕРМІЧНО ЗАГАРТОВАНОГО ВИСОКОМІЦНОГО ЧАВУНУ

Дилатометрія - це термоаналітичний метод, що дозволяє вимірювати зміни в об'ємі або довжині зразка при зміні температури. Цей метод часто застосовують для дослідження температурного розширення матеріалів, фазових переходів та їх впливу на структурні зміни. Він є корисним у галузях металургії, матеріалознавства та інших сферах, де важливо знати поведінку матеріалу під час термічної обробки або експлуатації в умовах змінної температури. Дилатометричні криві зразків ізотермічно загартованого високоміцного чавуну (ВЧ), що має поширену назву ADI, використано для вивчення зміни мікроструктури в залежності від температури або часу, поки зразок проходить контрольовану температурну програму [1].

ADI має багато таких позитивних властивостей, як поєднання високої міцності і пластичності, добрі зносостійкість і високу втомну міцність. Його підвищені механічні властивості в порівнянні з ВЧ в незагартованому стані пов'язані зі специфічною мікроструктурою, зокрема, під назвою «аусферит», яка складається з голчастого фериту (α) і високовуглецевого (залишкового) аустеніту ($\gamma_{\text{вс}}$). Austempering - це термообробка ВЧ, що полягає в ізотермічному гартуванні з метою покращення його властивостей. ADI вперше був комерціалізований на початку 1970-х рр., але серйозні дослідження для його застосування було проведено наприкінці XX – початок XXI століття [2 - 4]. За словами J. R. Keough, у світі триває швидке зростання виробництва ADI, вагова частка якого серед металовиробів нині наближається до мільйона тонн на рік [4]. ADI часто використовують для зубчастих коліс, його чудові трибологічні властивості навіть дозволяють механізмам тимчасово працювати без мастила. Ще одне поширене застосування виливків з ADI - для колінчастих валів та осей. Деякі застосування ADI включають: поворотні кулаки, зірочки, ролики, натяжні колеса, корпуси та кронштейни підвіски, зносостійкі пластини, маточні колеса, фланцевих валів тощо [1 - 4].

Загалом, деякі переваги виливків із ADI, такі: до 40% менше вартості, ніж ковкки із загартованої сталі; низький рівень робочого шуму в контакті з рухливими деталями; на 10% менше маси, ніж сталь; краще зношування, ніж цементована сталь; відмінна стійкість до поширення тріщин; добра ударна міцність до -80 °С; загартування при експлуатації. З огляду цих показників ADI постало питання про його поведінку після впливу підвищених температур, що

було важливим для визначення максимальної допустимої робочої температури для експлуатації металовиробів. Крім того, для термооброблених матеріалів очікують меншу ймовірність збереження їх механічних властивостей у разі підвищення температури вище температури їх термічної обробки. Вже відомо, що аустеніт у структурі аусфериту термічно стабільний до дуже низьких температур. Однак аустеніт може розпадатися на ферит і карбід під впливом підвищених температур, в результаті чого відбувається поступова деградація механічних пластичних властивостей [1]. Розпад (перетворення) аустеніту на ферит і карбіди пов'язані з деякими змінами об'єму. У роботі [6], проведений за допомогою дилатометра, досліджено об'ємні зміни, зумовлені розкладанням аусферитної мікроструктури і перетворенням аустеніту, що відбуваються в діапазоні 450-550 °C.

В дослідженні [1] було обрано два типи матеріалу ADI, ASTM 897 ADI (клас 1 і 3) [7]. Хімічний склад вихідного ВЧ (% мас.): 3,48 C; 2,10 Si; 0,40 Mn; 0,027 P; 0,012 S; 0,045 Mg; $C_e = 4,18$ %. Зразки вихідного ВЧ пройшли термообробку в печах з аустенітизацією протягом 1,0 год. при 870 °C в атмосфері повітря для обох сортів зразків ADI. Гартування проведено в ванні з нітратом калію, температура якої 1 класу ADI становила 400 °C і для класу 3 ADI – 340 °C. Мікроструктура, досліджена на оптичному мікроскопі Olympus, складалась з добре сформованого кулястого графіту в аусферитній матриці. Дилатометрична поведінка марок ADI була досліджена за допомогою дилатометра Netzsch 402/C/7 (швидкість нагріву/охолодження: 5 K/хв). Дилатометричні криві представлені на рис. 1 [1].

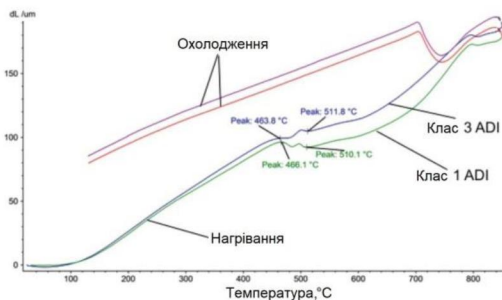


Рисунок 1 - Дилатометричні криві зразків ADI (клас 1 і клас 3), вплив температури на відносну зміну розмірів

Після отримання дилатометричних характеристик мікроструктура ADI 1 класу та ADI 3 класу при спостереженнях на тому ж оптичному мікроскопі складалась з добре сформованих вузликів графіту в металевій матриці фериту та глобулярного перліту.

Висновки з цього дослідження щодо зміни мікроструктури для зразків двох марок ADI з використанням дилатометричного методу і застосування оптичного мікроскопа такі. За результатами експерименту по нагріванню зразків на дилатометричних кривих видно деякі зміни об'єму в діапазоні температур 460-510°C, що свідчить про розкладання високовуглецевого аустеніту. Температурний режим розкладання високовуглецевого аустеніту відповідає літературним даними про це явище. При порівнянні з охолоджуючими частинами тих самих дилатометричних кривих змін об'єму в діапазоні температур 460-510°C не спостерігалось. Охолоджувальні частини дилатометричних кривих показують типову поведінку зразків чавуну з евтектоїдним перетворенням без будь-яких змін до кімнатної температури. Отримані результати дають експериментальне підтвердження оптимального температурного інтервалу експлуатації металовиробі з ADI без зміни його структури, зокрема аусферитної структури, з притаманними їй високими механічними характеристиками, що є перевагою для багатьох промислових застосувань.

Виконаний короткий аналіз температурних умов експлуатації деталей з ADI проведено в циклі досліджень по темі «Наукові та технологічні засади створення економнолитих конструкцій з підвищеним рівнем експлуатаційних характеристик на основі високоміцних чавунів з використанням комплексного фізико-хімічного впливу на структуру розплаву і процес кристалізації при регульованих параметрах тиску, вакууму і низьких температур».

В одному із підрозділів цієї теми у відділі фізико-хімії процесів лиття розроблено ресурсозберігаючий процес лиття за моделями, що газифікуються (ЛГМ), який взаємно доповнено ізотермічним гартуванням виливків. При цьому, крім притаманного ЛГМ досить простого формування разових моделей в сипкому піску з застосування короткотривалої вібрації, використано можливість легкого видалення гарячих виливків з сухого сипкого середовища ливарної форми. Вибивання виливків з форм в традиційних ливарних процесах у піщаних формах зі зв'язувальними компонентами при ЛГМ замінено висипанням піску зі звільненням виливка чи вийманням його з піску шляхом піднімання за допомогою кранового захвату.

Гартування гарячого виливка (прямо з форми) в аустенітному стані скорочує його витримку в цій формі, того часу, що традиційно виливок там охолоджується, достатньо, щоб провести його ізотермічне гартування, зокрема з отриманням виливка з ADI. Крім ряду способів такого енергозберігаючого тандему процесів лиття з термообробкою, запатентовано також ливарний комплекс (з термообробкою) та роторно-конвеєрну лінію [8], в тому числі з ізотермічною витримкою виливка в нагрітому піску, у

варіанті, з якого його вийняли при видаленні з форми, а гартування провели за рахунок псевдозрідження піску форми з гарячим виливком при продуванні піску струменем повітря під певним тиском.

Список використаних джерел

1. Avdušinović H., Gigović-Gekić A., Dervišić Š. Dilatometric analysis of the austempered ductile iron samples. Internat. Foundrymen Conf. (Ed: Z. Zovko Brodarac). Opatija, Hrvatska, 15-17.05.2017. ISBN 978-953-7082-26-0. P. 43-49.
2. Janjić M., Avdušinović H., Jurković Z., Bikić F., Savićević S. Influence of austempering heat treatment on mechanical and corrosion properties of ductile iron samples. *Metalurgija*, 55(2016)3. P. 325-328.
3. Keough J. R., Hayrynen K. L., Automotive applications of austempered ductile iron (ADI): A critical review, Society of Automotive Engineers. Livonia, MI, USA, 2000.
4. Keough J. R. AFS Hoyt memorial lectu re: innovate or die. *Modern Casting*. September. 2023. P. 33-37.
5. Nadkarni G., Gokhale S., Boyd J. D., Elevated temperature microstructural stability of austempered ductile irons, AFS Transactions. 104(1996). P. 985-994.
6. Keough J. R., Hayrynen K. L., Pioszak G. L. Designing with austempered ductile iron (ADI). AFS Proceedings. American Foundry Society. 2010, Schaumburg, USA.
7. ASTM 897(M) ASTM 897(M) Austempered Ductile Iron Specification, 1990.
8. Дорошенко В.С. Способи охолодження виливків при проектуванні ЛТО-процесу, що взаємодоповнює технології лиття та термообробки. *Процеси лиття*. 2020. - № 1. С. 42-53. <https://doi.org/10.15407/plit2020.01.042>.