

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-46>

INFLUENCE OF SELF-TEMPERING TEMPERATURE ON THE STRUCTURE OF ACCELERATEDLY COOLED MEDIUM-CARBON STEEL

ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ САМОВІДПУСКУ НА СТРУКТУРУ ПРИСКОРЕНО ОХОЛОДЖЕНОЇ СЕРЕДНЬОВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ

Vakulenko I.O.,

*DSc (Engineering), Professor,
Dniprovsky State Technical University,
Kamianske, Ukraine*

Вакуленко І.О.,

*д.т.н., професор, Дніпровський
державний технічний університет,
м. Кам'янське, Україна*

Plitchenko S.O.,

*PhD (Engineering), Associate
Professor, Dniprovsky State Technical
University, Kamianske, Ukraine*

Плітченко С.О.,

*к.т.н., доцент, Дніпровський
державний технічний університет,
м. Кам'янське, Україна*

Hlebnikov A.V.,

*PhD student, Dniprovsky State
Technical University,
Kamianske, Ukraine*

Хлебніков А.В.,

*аспірант, Дніпровський державний
технічний університет,
м. Кам'янське, Україна*

За термічного зміцнення стрижневого прокату в лінії прокатного стану, градієнту температур, що виникає по перерізу металу, відповідає формування структур за різними механізмами. Починаючи від структурних перетворень аустеніту за механізмом зсуву, що відповідає максимальній швидкості охолодження поблизу поверхні інтенсивного тепловідведення і формуванню структур мартенситного типу, до дифузійного механізму, зі структурами різної дисперсності. Зі збільшенням відстані мікрооб'ємів металу від поверхні прокату, відбувається поступове зниження швидкості охолодження, що призводить до відповідних якісних структурних змін.

Дійсно, вже незначне зниження швидкості охолодження, порівняно з критичним значенням, стає достатнім для перетворення аустеніту за проміжним механізмом, а за значних перерізів прокату, поблизу центральних об'ємів, за дифузійним механізмом, з формуванням ферито-перлітних структур. Більше того, на момент завершення прискореного охолодження, величина градієнту температур визначатиме зміну температури розігріву металу в залежності від відстані мікрооб'єму від зовнішньої поверхні. На підставі цього, шари металу починаючи від поверхні прокату, зі структурами зміцнення неминуче будуть піддаватися додатковому нагріву від центральних об'ємів, з більш високою температурою. В результаті, в міру просування від поверхні,

прокат можна уявити, як складений з шарів з певною структурою та відповідним комплексом властивостей. Характер зміни властивостей міцності при навантаженні, для кожного окремого шару буде аналогічним впливу температури відпуску на структуру і властивості сталі після гартування [1].

На підставі адитивного внеску структурних складових в загальний рівень характеристик міцності, можна визначити, що зміна їх співвідношення, дозволить отримати необхідну структурну неоднорідність по перерізу прокату і відповідний рівень властивостей.

З підвищенням температури відпуску загартованої середньовуглецевої сталі, характеристики міцності знижуються з одночасним підвищенням пластичних властивостей [2]. За температурою відпуску, крива пом'якшення сталі після гартування (рис. 1, а) відповідає розвитку якісно різних процесів структурних змін.

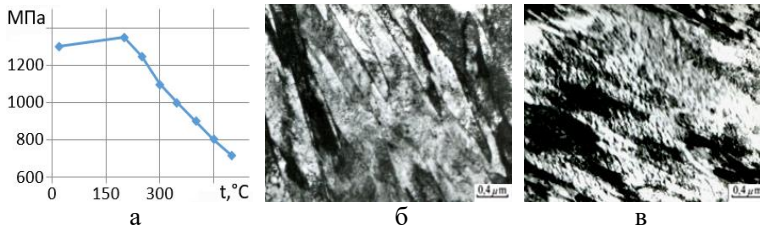


Рис. 1. Вплив температури відпуску на міцність сталі після гартування (а) та структуру після відпуску при 200 °С (б, в)

За аналізом мікроструктури визначено, що в результаті гартування від температур вищих за A_{c3} , та самовідпуску, сформована структура сталі відповідає рейковому мартенситу з високою щільністю дислокацій та шириною рейок менших за 1 мкм (рис. 1, б). В окремих кристалах мартенситу виявляються дисперсні двійники та випадково орієнтовані карбідні частки (рис. 1, в). Присутність в структурі частинок карбідної фази свідчить про розвиток процесів самовідпуску мартенситу, формування якого завершується за температур, достатніх для прискорення процесів дифузії атомів вуглецю. Так, для сталі з вмістом вуглецю 0,3 %, температура початку мартенситного перетворення становить близько 400...450 °С, чого цілком достатньо для початку виділення атомів вуглецю вже в процесі формування самих кристалів мартенситу [3, 4]. Відсутність приросту міцності, після відпуску при температурі 200 °С сталі після гартування (рис. 1, а), пояснюється недостатньою концентрацією атомів вуглецю в аустеніті досліджуваної сталі.

При відпуску сталі за температур 300...350 °С, ефект пом'якшення від розвитку процесів перерозподілу дислокацій і зниження їх щільності, частково компенсується дисперсійним зміцненням від формування додаткової кількості частинок цементиту, що підтверджується

монотонним зниженням мікротвердості при 400°C та початком полігонізації в мартенситних кристалах. На підставі цього, поява в структурі сталі додаткових субмеж та вдосконалення субмеж, що були утворені раніше, представляє собою додатковий фактор диспергування елементів внутрішньої будови металу. Хоча зазначені зміни субструктури і мають ефект зміцнення, в дійсності їх вплив на характеристики міцності не достатньо значний. Подальше підвищення температури відпуску до 500 °C супроводжується формуванням субструктури близької до рівновісної (рис. 2), що пояснює прогресуюче пом'якшення сталі після гартування.

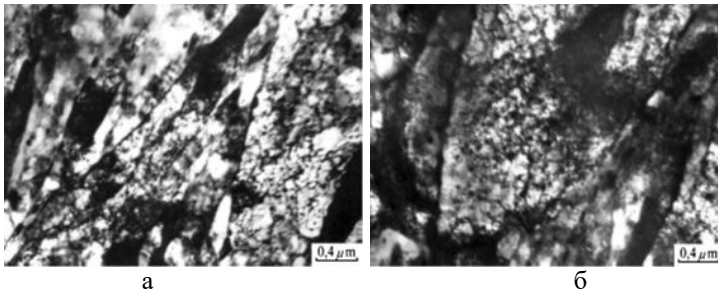


Рис. 2. Вплив відпуску при 500 °C на структуру сталі після гартування

Характер впливу на характеристики міцності більш високих температур відпуску сталі після гартування на мартенсит, залишається незмінним. За аналізом отриманих результатів визначено, що сумарний ефект пом'якшення при відпуску сталі після гартування від розпаду твердого розчину, зменшення щільності дислокацій та коалесценції карбідних частинок перевищує рівень зміцнення від взаємодії дислокацій з атомами вуглецю, формування додаткових субмеж і дисперсійного зміцнення від карбідних частинок.

Перелік використаних джерел

1. Lonardelli I. et al. Powder metallurgical nanostructured bainitic steel: kinetics, structure, and in situ thermal stability studies. *Materials Science and Engineering*. 2012. Vol. A 555. P. 139–147.
2. Vakulenko I. Influence of cooling rate on the strength of the ring of railway wheel. *Materials Science*. 2016. Vol. 51, № 6. P. 839–842.
3. Bhadeshia H.K.D.H. Bainite in steels. *Cambridge: The University Press*, 2001. 460 p.
4. Caballero F. G., Bhadeshia H.K.D.H. Very Strong Bainite. *Current Opinion in Solid State and Materials Science*. 2004. Vol. 8. P. 251–257.