

## РОЛЬ АУСТЕНИТУ У ФОРМУВАННІ КОМПЛЕКСУ ВЛАСТИВОСТЕЙ СЕРЕДНЬОЛЕГОВАНОЇ СТАЛІ БЕЙНІТНОГО КЛАСУ<sup>2</sup>

Князева Г.О.<sup>1,2</sup>, доц., Князев С.А.<sup>2</sup>, к.т.н., Сосонний О.В.<sup>2</sup>, асп.

<sup>1</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет

<sup>2</sup>Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

*Анотація.* Досліджено вплив різного виду термічної обробки (ізотермічного гартування, а також гартування та середньотемпературного відпуску) на механічні властивості сталі 30ХГСН2А. Показано, що не зважаючи на однакові значення твердості, значення ударної в'язкості значно відрізняються, та залежать від кількості залишкового аустеніту.

*Ключові слова:* ізотермічне гартування, металографічний аналіз, механічні властивості, міцність

## THE ROLE OF AUSTENITE IN THE FORMATION OF THE COMPLEX OF PROPERTIES OF MEDIUM-ALLOYED BAINITE CLASS STEEL

Kniazieva H.O., Assoc., Kniaziev S.A., Ph.D., Sosonny O.V., assistant professor

<sup>1</sup>Kharkiv National Automobile and Highway University

<sup>2</sup>National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»

*Annotation.* The effect of different types of heat treatment (isothermal quenching, as well as quenching and medium-temperature tempering) on the mechanical properties of 30CrMnSiNi2A steel was studied. It is shown that despite the same values of hardness, the values of impact toughness differ significantly and depend on the amount of residual austenite.

*Keywords:* isothermal hardening, metallographic analysis, mechanical properties, strength

### Вступ

Сучасний асортимент конструкційних сталей дозволяє не тільки підібрати потрібну марку за показником ціна/якість, але і дозволяє у широких межах маневрувати механічними властивостями, змінюючи їх структуру. Теоретичні і практичні здобутки у сфері кінетики фазових перетворень, технологій термічної обробки та кількісної металографії дозволяє досить точно спрогнозувати той чи інший результат структурозмін і порівняно легко керувати змінами механічних властивостей сталей. Сталі бейнітного класу (деякі низько- та більшість середньолегованих сталей) як найкраще підходять під задачі гнучкого керування властивостями через більшу можливість по структуроутворенню. Ярко виражене бейнітне перетворення та наявність м'якої аустенітної фази дозволяє, при збереженні високих показників міцності, досягати підвищених значень запасу в'язкості.

### Аналіз публікацій

Аналіз публікацій [1, 2] щодо бейнітного перетворення та впливу залишкового аустеніту показав, що незважаючи на їх велику кількість та всебічну вивченість досі не вистачає конкретних, експериментальних даних щодо впливу технологічних варіацій

---

<sup>2</sup> Робота виконана під керівництвом доцента Князевої Г.О.

гартування на зміни структури та властивостей цілої низки складнолегованих сталей, у тому числі і сталі марки 30ХГСН2А.

### **Мета роботи і завдання**

Мета роботи – зрозуміти вплив структурозмін у конкретній марці сталі на її механічні характеристики при варіаціях технології термічної обробки. Для досягнення мети були поставлені і вирішені завдання: провести звичайне гартування та гартування з ізотермічною витримкою зразків ідентичного складу та металургійної якості; вивчити мікроструктуру (морфологію, кількість залишкового аустеніту); встановити механічні характеристики сталі після різних варіацій термічної обробки.

### **Матеріал і методи дослідження**

В якості матеріалу досліджень, на якому проводились експерименти, було обрано середньолеговану сталь бейнітного класу 30ХГСН2А. Проведено 2 види термічної обробки: ізотермічне гартування, а також гартування + середньотемпературний відпуск. Ізотермічне гартування проводилось при температурі 900 °С, витримці при даній температурі з подальшим перенесенням зразків в піч з температурою 280 °С. Для інших зразків проводилась термічна обробка, яка полягала в гартуванні з температури 900 °С, витримці та охолодженні в трансформаторному мастилі (з метою забезпечення найменшої швидкості охолодження, а також для зменшення деформації при обробці), з подальшим середньотемпературним відпуском при температурі 400 °С та охолодженні на повітрі. Підібрані режими термічної обробки дозволяють отримати значення твердості приблизно на одному рівні в середньому 48 HRC.

Оптико-емісійним аналізом (на спектрометрі SPECTRO) встановлений елементний аналіз досліджуваних зразків після термічної обробки. Металографічні дослідження проводились на мікроскопі ZESS AIXO Ver.1. Випробування на розрив проводились за допомогою приладу – TIRAtest 2300, вимірювання твердості проводились на твердомірі ТК–2М, випробування на ударну в'язкість – на приладі 2130КМ-03.

### **Результати дослідження**

Металографічні дослідження, проведені на сталі 30ХГСН2А у вихідному стані, показали, що сталь має незначні забруднення по неметалевим включенням, а саме 1...1,5 бали [3]. Дослідження мікроструктури після термічних обробок показав, що в усіх зразках наявні корозійно-активні включення, характерний вигляд яких представлено на рис. 1.

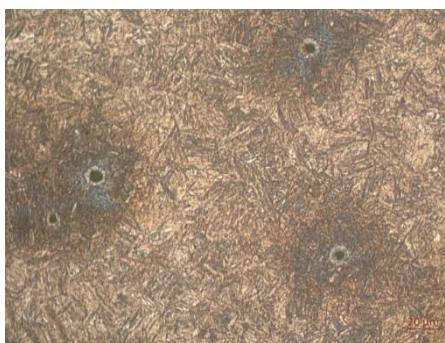


Рисунок 1 – Мікроструктура зразків з наявністю корозійно-активних неметалевих включень,  $\times 500$

Залишковий аустеніт - метастабільна фаза, роль якої часто недооцінюють, або не помічають. По своїй природі, згідно фізичної кристалографії – це пластична і м'яка фаза, яку часто вважають шкідливою. Дійсно, наявність залишкового аустеніту часто призводить до зниження твердості, статичної міцності та розвитку втомного руйнування. Однак роль залишкового аустеніту слід розглядати з урахуванням оточуючих фаз у сталі. Так, основна негативна дія проявляється на фоні мартенситної матриці після звичайного гартування. Однак при реалізації бейнітного перетворення розподіл напружень, мікродеформацій може позитивно позначитись на комплексі механічних властивостей у матеріалі вцілому.

Визначення залишкового аустеніту проводилось підрахунком його площі. Для його чіткого виділення, за рахунок комп'ютерної обробки зображення мікрофотографії, було нанесено маску виділення по градації сірого. Приклад такої обробки наведено на рис. 2.

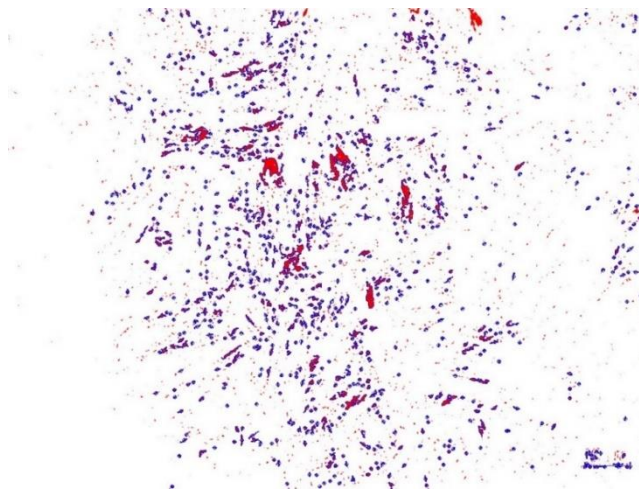


Рисунок 2 – Маска виділень зразка №1 після ізотермічного гартування з 15,5 %  $A_{\text{зал}}$  (x 1000)

Підрахунок кількості залишкового аустеніту після термічної обробки показав, що після ізотермічного гартування в сталі присутньо близько 15,5%, а після гартування та середньотемпературного відпуску на рівні 3,48%. Це підтверджує той факт, що після ізотермічного гартування значна частина залишкового аустеніту стабілізувалась.

Елементний аналіз зразків після термічної обробки представлений в табл. 1.

Таблиця 1 – Елементний аналіз зразків після термічної обробки

Вид термічної обробки	Елементний аналіз, ваг. %							
	C	Cr	Mn	Si	Ni	S	Cu	P
Ізотермічне гартування	0,28	1,05	1,15	1,10	1,45	0,019	0,17	0,023
Гартування + середній відпуск	0,29	1,06	1,1	1,11	1,43	0,020	0,19	0,021

Вміст легуючих елементів знаходиться в межах допустимих для цієї марки сталі, як і вміст шкідливих домішок. Вміст азоту у зразках сталі лежить поза межами чутливості приладу, а значить не може суттєво вплинути на механічні характеристики зразків сталі, що

досліджується. Наголосимо, що азот іноді добавляють у сталь при її виплавці без залежного відображення його наявності у сертифікатах та марках сталі, хоча відомо, що цей елемент навіть при мікролегуванні суттєво впливає на механічні характеристики сталей.

Зважаючи на той факт, що режими термічної обробки підібрати таким чином, щоб отримати приблизно однакові значення твердості, цікавим було провести дослідження інших механічних характеристик, а саме випробування на розрив та на ударну в'язкість. Результати цих випробувань представлені в табл. 2.

Таблиця 2 – Результати механічних випробувань після термічної обробки

Вид термічної обробки	Механічні властивості					
	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\delta$ , %	$\psi$ , %	КСУ, Дж/см <sup>2</sup>	HRC
Ізотермічне гартування	1550	1350	17	53	100	47,8
Гартування + середній відпуск	1470	1345	16	50	77	48,3

Як бачимо з результатів, приведених у табл. 2 вимір твердості не відображає об'єктивну картину структурного стану та змін механічних властивостей, що зумовлено різною кількістю залишкового аустеніту та матричної структури. В той же час можна спостерігати достатньо близькі показники статичної міцності та пластичності, що не надає ключової переваги жодному з варіантів термічної обробки. Тільки показник ударної в'язкості дозволяє виявити перевагу ізотермічного гартування, який дає 23% приріст запасу в'язкості.

### Висновки

За результатами порівняльних експериментів та випробувань на сталі 30ХГСН2А показано значну роль аустеніту залишкового на ударну в'язкість сталі з яскраво вираженим бейнітним перетворенням при умові його реалізації через застосування гартування з ізотермічною витримкою. Показано наглядний випадок ситуації, коли не можна тільки по показникам твердості характеризувати результати обробки. Відпрацьовано методіку застосування комп'ютерної обробки зображень мікроструктур з метою реалізації кількісної металографії, що дозволяє в окремих випадках замінити технічно більш складну методіку визначення залишкового аустеніту рентгеноструктурним методом.

### Література

1. Jian G. Zhu, Xichen Sun, Gary C. Barber, Xue Han and Hao Qin. Bainite transformation-kinetics-microstructure characterization of austempered 4140 steel. *Metals*, 2020, 10, p. 236 – 252.
2. R.Kumar, R. Kumar Dwivedi, R. Kumar Arya, P.Sonia, A. Singh Yadav, K. K. Saxena, M. Ijaz Khan, S. Ben Moussa. Current development of carbide free bainitic and retained austenite on wear resistance in high silicon steel. *Journal of Materials Research and Technology*, 2023. Vol. 24. – p. 9171-9702.
3. ДСТУ ISO 4967:2017 Сталь. Визначення вмісту неметалевих включень. Металографічний метод оцінювання за стандартними шкалами.