Міщенко В.Г., Тонконог Д.М.
(НУ «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя)

ХІМІКО-ТЕРМІЧНА ОБРОБКА НА ВТОРИННУ ТВЕРДІСТЬ РОЗРОБЛЕНОЇ СТАЛІ ТИПУ 09Х3НМ3ФБч

E-mail: mishchen4@gmail.com

Відомі середньолеговані цементовані сталі14ХГСН2МА (ДИ3А), 13Х3НВМ2Ф (ВКС-4), 16Х3НВМФБ (ВКС-5), 13Х3Н3М2ВФБ (ВКС-10) і М50 NiL на сьогодні не відповідають сучасним вимогам до матеріалів для важконавантажених зубчастих коліс. Зокрема, сталі 14ХГСН2МА і 16Х3НВМФБ мають недостатній рівень теплостійкості (≤ 300 °С), а сталі 13Х3НВМ2Ф і М50 NiL характеризуються підвищеною твердістю серцевини, що ускладнює їх механічну обробку, а всі вони мають низькі показники контактної витривалості [1].

З метою розв'язання цих проблем було розроблено склад вториннотвердіючої сталі 09Х3НМ3ФБч, що цементується [2]. Порівняльні механічні й експлуатаційні властивості розробленої сталі 09Х3НМ3ФБч та її аналогів наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Механічні й експлуатаційні властивості сталей, що цементуються [1]

Марка сталі	Властивості серцевини			Властивості цементованої сталі	Контактна витривалість при σ_{Zmax} = 2300 МПа	Температура експлуатації (макс.)
	σ^{20}_{B}, МПа	HRC	KCU, МДж/м²	HRC	N_{50}, 10^6 циклів	t, °C
ХТО на первинну твердість						
14ХГСН2МА	980…1050	38…41	0,95…1,05	≥ 58	20	180
16Х3НВМФБ	1220…1280	42…44	0,78…0,85	≥ 62	23	300
ХТО на вторинну твердість						
М50 NiL	1300…1400	42…46	-	60…64	-	400
13Х3НВМ2Ф	1150…1300	42…44	0,50…0,77	60…62	39	450
09Х3НМ3ФБч	1282…1405	38…44	0,85…1,19	61…63	≤101*	450

*Максимальні контактні напруження σ_{Zmax} = 3500 МПа.

Для підвищення теплостійкості досліджуваної сталі було обрано режим цементації, що забезпечує її вторинне твердіння [1, 3]. Цементацію нормалізованих зразків проводили у твердому карбюризаторі (ГОСТ 2407-83) у контейнері при температурі 1030 ± 10 °С протягом 10 год із наступним безпосереднім гартуванням в індустріальній олії та 5-кратним відпусканням за температур: 500 ± 5 °С, 520 ± 5 °С, 540 ± 5 °С. Для дослідження механічних властивостей (σ_B, HRC) серцевини сталей використовували зразки, які піддавали термічній обробці за режимом: загартування з температури 1030 ± 10 °С в індустріальній олії та наступний 4-кратне відпускання за температури 540 °С протягом 1 год.

Після отримання аустенітної структури вибирали температуру та достатню кількість відпусків з метою забезпечення оптимального впливу ефекту вторинного твердіння на формування структури та кінцевих властивостей дифузійного шару зразка (табл. 2).

Таблиця 2 – Вплив режимів термічної обробки на твердість сталі після ХТО

Температура відпуску	Твердість поверхневого шару після цементації, загартування та наступних відпусків, HRC				
	I	II	III	IV	V
500 ± 5	55…57	61…62,5	61,5…63	61,5…63	61,5…63
520 ± 5	50…54,5	60…61	61…63	62…63	62…63
540 ± 5	54…57	60…62,5	61…63	61…63	61…62,5

Результати досліджень показують, що вже після 3–4 відпусків формується стабільна структура дифузійного шару та досягається його максимальна твердість, яка не змінюється при проведенні подальших відпусків. Це дає можливість спростити технологію ХТО в порівнянні з аналогами (4–5 відпусків)

та уможливлює використовувати досліджувану сталь за високих температур експлуатації – до 450 °С [1, 3].

Отже, перевага твердості розробленої вториннодіючої цементованої сталі 09Х3НМ3ФБч (61-63 HRC) у порівнянні з 13Х3НВМ2ВФБ позитивно впливає на її експлуатаційні властивості, а додатковий контроль якості ХТО гарантує потрібну структуру шару та забезпечує безвідмовну роботу зубчастих коліс. Оскільки максимальні температури експлуатації вказаних сталей досягають 250…450 °С, то для виготовлення важконавантажених та високошвидкісних деталей редукторів газотурбінних двигунів доцільно використовувати вториннотвердіючі цементовані сталі.

У результаті дослідження встановлено переваги хіміко-термічної обробки на вторинну твердість розробленої сталі 09Х3НМ3ФБч у порівнянні з аналогами, обробленими на первинну та вторинну твердість.

Література:

1. Лазечный И.Н., Банас И.П. Формирование при ХТО структуры и свойств цементируемых сталей различной теплостойкости // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – №1 (2005). – С. 37–44.

2. Пат. 108582 Україна, МПК C22C38/44, C22C38/46, C22C38/48. Цементована сталь / Міщенко В.Г., Панченко О.І., Лютий О.П., Єдинович А.Б., Меняйло О.І., Милосердов О.Б., Олійников В.І.; заявник та патентовласник Запорізький національний університет. – № a201404953; заявл. 12.05.2014 ; опубл. 12.02.2015, Бюл. №9.

3. Ervin V. Rolling Bearing Steels – A Technical and Historical Perspective (NASA/TM – 2012-217445, National Aeronautics and Space Administration, Gler Research Center, Cleveland, Ohio 44135, 2012).