

CENTRAL ASIAN JOURNAL OF THEORETICAL AND APPLIED SCIENCES

Volume: 04 Issue: 04 | Apr 2023 ISSN: 2660-5317
<https://cajotas.centralasianstudies.org>

Технологии Термоциклической Обработки Для Повышения Износостойкости

А. А. Юсупов, Д. С. Фазилов, Ф. А. Абдукаримова

Алмалыкский филиал Ташкентского государственного технического университета им, И.Каримова

Д. М. Бердиев

Ташкентского государственного технического университета им, И.Каримова

Received 4th Feb 2023, Accepted 6th Mar 2023, Online 8th Apr 2023

Введение. *Предприятия сельскохозяйственного машиностроения Республики Узбекистан постоянно увеличивают выпуск хлопкоуборочных машин. При эксплуатации данной техники в результате абразивного изнашивания выходит из строя таких деталей как зубчатые колеса и вал-шестерени, в результате чего ежегодно расходуется большое количество металла для изготовления запасных частей. С каждым годом машиностроительная техника становится более сложной, и для обеспечения ее эффективного использования необходима мощная ремонтная база.*

Работоспособность зубчатых колеса во многом определяет долговечность их зубьев. Зубчатые колеса, как правило, изготавливают из низкоуглеродистой стали (содержание углерода $0,1 \div 0,25$ %) и подвергают их термической обработке – цементация, закалка и низкий отпуск. Сокращение времени обработки обеспечивает цементация в газовой среде. При этом расходуется много электроэнергии и газообразного углеводорода.

В последующие годы исследователями были предложены разные варианты термической обработки зубчатых колес, включая многократные нагревания и охлаждения в основном выше точки фазового превращения. Такую обработку называли термоциклической обработкой. Ее используют для измельчения зерна и снятия внутренних напряжений, что обеспечивает повышение прочности и вязкости стали.

Анализ публикаций по термической обработке [1–3] показал, что в настоящее время для улучшения структуры и свойств сталей широко используют циклическую термическую обработку (ЦТО), которая эффективнее улучшает механические свойства сталей по сравнению с традиционными термическими обработками [2].

В настоящей работе исследования направлены на повышение износостойкости зубьев мелкозубчатых колес из низколегированной стали 65Г применением ЦТО без изменения химического состава материала зубчатых колес. Положительные результаты достигнуты изменениями структуры материала в результате физических и химических процессов.

При ЦТО интенсифицируются диффузионные превращения в результате повторного ускоренного нагрева и охлаждения в стадии незаконченной перекристаллизации аустенита и еще несформированного роста зерен. Данный способ обработки основан на получении устойчивого аустенита путем размельчения структурных зерен и перераспределения дислокаций при высоких температурах, достигаемых индукционным нагреванием (ИН). В результате накопления структурных преобразований и фазовых превращений получали структуру стали, которую нельзя получить традиционными способами термообработки.

Эффективность ЦТО зависит от последовательности операций, числа циклов, скорости нагрева и охлаждения, химического состава стали. Применения ЦТО с полиморфными превращениями и в условиях их отсутствия показали, что при нагревании и охлаждении сталей имеют место фазовые превращения. Для повышения износостойкости низколегированных сталей необходимо оптимизировать режимы ЦТО. Для этих целей исследовали структуры сталей и определяли износостойкость в условиях трения после предварительной ЦТО и последующей ИН образцов.

Материалы и методика исследования. В экспериментах использовали образцы из стали 65Г [3]. При ЦТО образцы диаметром 20 мм и высотой 7 мм нагревали высокочастотным током продолжительность от нескольких до 20 с. Для нагрева использовали устройство ЛЗ107, для определения температуры –термопары. Образцы нагревали до температур $T = 450, 550$ и 700 °С, после чего их охлаждали. Для этого подавали охлажденный воздух. Повторная фазовая перекристаллизация сталей достигалась нагреванием до температуры $A_{c3} + (30 \div 50)$ °С. Окончательное нагревание осуществляли при температуре $T = 900$ °С. Далее сталь охлаждали в масле и нагревали до температуры $T = 180$ °С, затем охлаждали подачей воздуха [7].

Металлографический анализ выполняли на ионном хроматографе Metrohm 850 Professional IC (SEM-EDX) и растровом электронном микроскопе Zeiss EVO MA 10 [5]. Структуру стали изучали с помощью спектрального рентгеновского анализатора Shimadzu [6]. Для определения износостойкости измеряли износ при трении образцов стали по неприкрепленным абразивным материалам и по металлу [6].

Результаты и обсуждение. Анализ состояния структуры предварительно термически обработанной стали 65Г с помощью ИН при разных температурах (в пределах докритической) после ЦТО показал, что дефектность кристаллической структуры стали мало зависит от температуры и числа циклов [7]. Установлено, что при нагревании выше критической температуры A_{c1} и при охлаждении подачей воздуха формировались примерно одинаковые структуры, при этом дефектности были разные.

Ранее в опубликованной работе [8] указаны значение показателя дефектности β , среднее значение $\beta_{ср}$ и твердость HRC образцов из стали 65Г после ЦТО, индукционной закалки и отпуска при $T = 180$ °С. Лучшие результаты получены при температуре 450 °С и числе циклов нагрева $N = 3 \div 5$. При других температурах (550 и 700 °С) дефектность кристаллического строения была неустойчивой или низкой. Хорошие результаты при $T = 450$ °С можно объяснить микропластической деформацией в результате быстрого теплообмена при циклическом нагревании. Образование второй фазы обусловлено микропластической деформацией зерен. В результате имело место интенсификация возникновения дислокаций, при этом высокая температура приводит к полигонизации структуры, что обеспечивает ее стабильность, в результате кристаллическая структура материала имеет невысокую дефектность.

Повторное нагревание выше температуры образования однофазовой полигонной структуры при высокой плотности дислокаций обеспечивает образование требуемой структуры. При ЦТО сталей

при температуре до 450 °С происходит интенсивная перекристаллизация структуры, при этом полигонная структура не образуется.

Сравнение результатов после ЦТО при температуре 450 °С и окончательной закалке ИН с результатами традиционной закалки ИН показало, что плотности дислокаций в первом случае повышаются незначительно. При одинаковой твердости (59÷60 HRC) разница ширины рентгеновских линий составила $\Delta\beta_{cp} = 5 \cdot 10^{-3}$ рад [8].

Испытания на износостойкость образцов, прошедших разные режимы обработки, показали аналогичные результаты, что и выводы исследований микроструктур и тонких структур образцов. При ЦТО и ИН в образцах образовалась одинаковая микроструктура, зерна одинаковых размеров, образцы имели одинаковые твердости, отличие заключалось в дефектности кристаллической решетки.

В таблице представлены результаты испытания на износостойкость образцов из стали 65Г после термических обработок на разных режимах.

Установлено, что после трех циклов ЦТО при $T = 450$ °С, охлаждении воздухом, ИН при $T = 900$ °С и отпуске при $T = 180$ °С в течение 60 мин износостойкость стали 65Г на 25÷30 % выше по сравнению с износостойкостью образцов, подвергнутых другими видами термической обработки.

Рентгеноструктурный анализ образцов сталей, обработанных ИН при разных температурах, показал, что степень дефектности кристаллической структуры после закалки стали зависит от продолжительности нагревания (рисунок). Самая высокий показатель дефектности β структуры наблюдался при продолжительности нагревания $t = 4\div 5$ с. Однако эта закономерность может измениться при других размера изделия.

Таблица. Результаты испытания на износостойкость стали 65Г после термообработки на разных режимах

Термообработка (T , °С)	$\Delta m_{в}$, мг	$\Delta m_{н}$, мг	HRC	m_{cp} , мг
Индукционная закалка (900), отпуск (180)	59,07	29,06	53,5÷60	89,37
	65,00	28,86	53,5	
	61,53	28,78	58÷60	
	58,36	27,34	59	
Три цикла нагревания (450), индукционная закалка (900), отпуск (180)	46,09	22,14	59	66,78
	49,30	23,09	59	
	40,02	24,49	58	
	38,00	24,01	59	
Три цикла нагревания (550), индукционная закалка (900), отпуск (180)	60,33	22,05	59	82,14
	36,01	24,15	59	
	54,26	25,13	59	
	59,12	27,02	59	
Примечание. Обозначения: $\Delta m_{в}$ и $\Delta m_{н}$ – износы соответственно верхнего и нижнего образцов; $m_{cp} = (\Delta m_{в} + \Delta m_{н})/2$.				

Полученные результаты сравнивали с показателями образцов из стали 18ХГТ, прошедших нитроцементацию и термообработку.

Экспериментально был определен оптимальный режим термической обработки зубцов мелко модульных зубчатых колес из стали 65Г:

1. Циклическое нагревание (число циклов $N = 3$) при $T = 400 \div 500$ °С, охлаждение подачей воздуха до температуры $80 \div 100$ °С; при напряжении на аноде $V_a = 6,5$ кВ и силе тока $I_a = 5,5$ А сила тока составила $I = 0,55$ А, зубья нагрелись до $T = 450$ °С, время нагревания составило $t = 3 \div 4$ с; время охлаждения воздухом до температуры $T = 80 \div 100$ °С составляло 140 с.
2. Закалка при напряжении на аноде $V_a = 9$ кВ и силе тока $I_a = 8,5$ А сила тока составила $I = 0,8 \div 1,8$ А, зубья нагрелись до $T = 900$ °С, время нагревания 7 с, охлаждающая среда – масло.

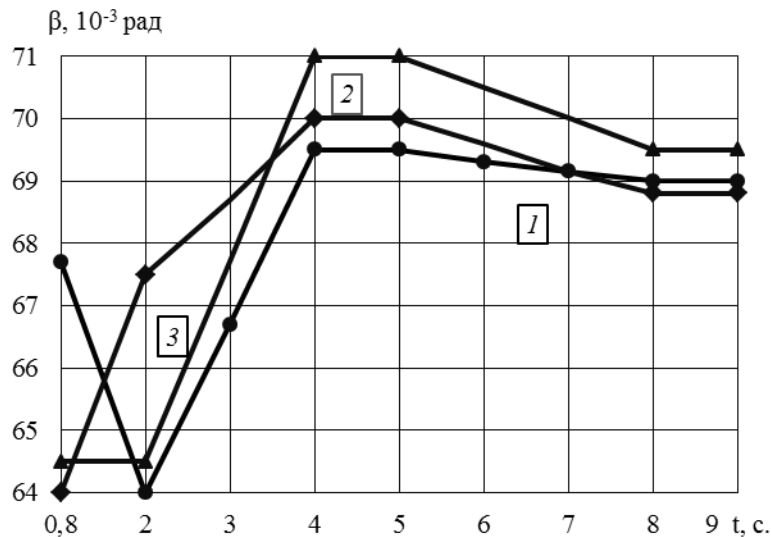


Рис. Зависимости показателя дефектности β стали от времени t термической обработки при $T = 870$ (1); 900 (2); 950 (3) °С

3. Нагревание в селитровой ванне до $180 \div 200$ °С в течение 60 мин, отпуск на воздухе.

Выводы. Зубья зубчатых колес из стали 65Г, прошедшие ЦТО и ИН, имели износостойкость в 1,3–1,4 раза выше износостойкости зубчатых колес с термообработкой традиционным ИН и в 1,2–1,3 раз выше износостойкости зубцов из нитроцементированной стали 18ХГТ.

Использованной литературы

1. Structural heredity in the U-6Nb Alloy and Conditions for its Elimination / V. V. Sagaradze, Yu.N. Zuev, S. V. Bondarchuk, et. al. // The Physics of Materials and Metallography. 2013. Vol. 114. N. 4. P. 299–307.
2. Structural heredity in low-carbon martensitic steels / S. S. Yugai, L. M. Kleiner, A. A. Shatsov, N. N. Mitrokhovich // MetallSciens and teat treatment. 2004. Vol. 46. N. 11, 12. P. 539–542.
3. Бердиев Д. М., Юсупов А. А. Повышение износостойкости зубьев зубчатых колес циклической закалкой с индукционным нагреванием // Вестник машиностроения. 2020. №3 С. 50–52.
4. Батаев В. А., Батаев А. А., Алхимов А. П. Методы структурного анализа материалов и контроля качества деталей. М.: Наука, 2007. 224 с.
5. Горелик С. С., Скаков Ю. А., Расторгуев Л. Н. Рентгенографический и электронно-оптический анализ. М.: МИСИС, 1994. 328 с.
6. Гаркунов Д. Н. Триботехника. М.: МСХА, 2005. 356 с.

7. Бердиев Д. М., Юсупов А. А. Повышение износостойкости стальных изделий методом нестандартных режимов термической обработки // *Литьё и металлургия*. 2021. № 2. С. 100–104.
8. Бердиев Д. М., Юсупов А. А., Тошматов Р. К. Совершенствование технологии термоциклической обработки для повышения износостойкость зубчатых колес // *Вестник машиностроения*. 2022. № 11. С. 69–72.
9. Юсупалиева, Д. К. (2016). Историко-социологический анализ развития телевидения в Узбекистане. *Вестник Челябинского государственного университета*, (1 (383)), 155-160.