

Обеспечение работоспособности деталей сельскохозяйственного машиностроения методом термоциклической обработки

Д.М. Бердиев, М.А. Умарова

Ташкентский государственный технический университет им. Ислама Каримова, г. Ташкент, Узбекистан

В статье рассматриваются результаты проведения циклической термической обработки с целью повышения абразивной износостойкости образцов из стали. Для повышения абразивной износостойкости малолегированных сталей предлагается циклическая термическая обработка при различных температурах. Определенный оптимальный вариант предварительного циклического нагрева до температуры 450°C стали 65Г может обеспечить повышение абразивной износостойкости до 30% по сравнению с обычной индукционной закалкой и более чем в 2 раза после стандартной закалки.

Ключевые слова: абразивной износостойкость, термическая обработка, циклической нагрев, индукционная закалка, плотность дислокации, твердость, малолегированный сталь.

Современное сельскохозяйственное машиностроение Республики Узбекистан существенно расширяет выпуск хлопкоуборочных машин. В процессе эксплуатации хлопкоуборочных машин из-за абразивного износа выходит из строя большое количество различных типа деталей шестерен и вал-шестерен. Абразивный износ зубьев шестерен является самым разрушительным и поэтому ежегодно расходуется большое количество металла для изготовления запасных деталей. По сколько техника становится более сложной, то чтобы обеспечить ее высокое эффективное использование, необходима мощная база для ремонта запчастей.

Работоспособности шестерен определяется по долговечности зуба. Обычно шестерни изготавливаются из низкоуглеродистой стали (содержание углерода 0,1-0,25%), после заключительной термической обработки - цементации, закалки и низкого отпуска. Увеличение скорости цементации достигается применением цементации в газовых средах.

В последующие годы многими исследователями были предложены различные варианты термической обработки детали шестерен, включающие многократный нагрев и охлаждение, в основном, выше точки фазового превращения. Эти варианты термической обработки получили название термоциклической обработки (ТЦО) и использовались главным образом для измельчения зерна, снятия внутренних напряжений и на этой основе увеличения прочности и вязкости стали.

Износостойкость сталей зависит в первую очередь от уровня твердости и плотности дислокаций. Одновременно было установлено, что имеются резервы

дополнительного повышения износостойкости за счет использования нестандартных режимов термообработки. Сущность использования нестандартных методов термообработки заключается в создании благоприятных сочетаний структурных параметров при уже достигнутом максимальном уровне твердости. По данным работы [1] циклическая закалка может существенно изменять плотность дислокаций и тем самым влиять на износостойкость и другие механические свойства.

В настоящей работе делается попытка повысить абразивную износостойкость сталей, работающих в условиях абразивного износа, циклической закалкой с индукционным нагревом токами высокой частоты (ТВЧ). Циклическая закалка заключается в многократном воздействии на металлы и сплавы изменений температуры при нагревах и охлаждениях с целью формирования структуры и получения необходимых механических свойств.

Для сравнение производственных данных выбранные образцы из стали 18ХГТ подвергали цементации в шахтных печах вместе с садкой из шестерен в цеховых условиях завода АО «Агрегатный завод». Цементация зубьев шестерен производится при 900-950°С, длительность процесса около 8-10 часов. Для данного режима термической обработки расходуется большое количество электроэнергии и газообразный углеводород для цементации запасных деталей шестерен в сельскохозяйственном машиностроении.

Для получения предварительных данных использовали образцы стали 65Г. Химический состав исследуемой стали приведен в табл. 1. В качестве контрольных использовали образцы после обычного индукционного нагрева до 900°С, охлаждение проводили в масле, отпуск при 180°С [2]. Образцы для исследования нагревали на различные температуры: 450°, 570°, 700°С, количество повторяемости циклов равнялось до 7 раз. Температуры нагрева были выбраны исходя из существующих режимов термоциклической обработки. После каждого нагрева проводилось охлаждение на воздухе под вытяжкой (ожидаемый способ охлаждения при разработке промышленной технологии). После последнего нагрева 950°С проводили закалку в масло и отпуск 180°С. Образцы имели размеры 20x20x7 мм. В целях регистрации структурных изменений при циклировании часть образцов исследовалась без окончательной закалки и отпуска. Для термической обработки использованы более современные установки индукционного нагрева ВЧГ2-100/066 (100 кВт, 66 кГц).

Для обеспечения равномерного прогрева образцов скорость нагрева при циклировании ограничивалась 110-120°/с. Для оценки температурно-временного фактора при проведении циклической закалки к образцу припаивалась термопара, подсоединенная к быстродействующему потенциометру для регистрации температуры.

Испытания на изнашивание проводили при трении скольжения по незакрепленному абразивному материалу на установке ПВ - 7 в соответствии с методикой [3,4].

Химический состав исследуемой стали

Марка стали	Содержание элемента, % масс.				
	C	Mn	Si	S	P
65Г	0,65	1,05	0,2	0,035	0,035

Абразивным материалом служил кварцевый песок пылевидный, который подавался порциями при помощи дозатора на трущуюся поверхность испытуемого образца и полиуретанового шнека. Выбор установки и способа испытания на абразивное изнашивание объясняется тем, что наши предыдущие исследования обнаружили существование подобия рядов износостойкости при испытаниях на машине ПВ – 7 и полевых испытаниях уплотнителя сошника хлопковой сеялки на полях ряда областей Узбекистана. Происходило совпадение порядка расположения материалов и количественных значений относительной износостойкости, полученных при изнашивании в условиях лабораторных и полевых испытаний [5]. Относительную абразивную износостойкость определяли, как сравнение потерь массы эталонного образца (индукционная закалка с 900° + отпуск 180°C). До и после испытаний образец взвешивали на аналитических весах ВЛА - 200М с точностью до 0,1 мг, повторяемость опытов равнялась 5.

Оценка параметров структуры проводилась методами количественной металлографии (размер зерна, количество структурных составляющих) рентгеноструктурного анализа (подсчет плотности дислокаций по физической ширине рентгеновской линии) по известным методикам [6]. Методы анализа структуры включали оценку как микроструктуры (оптическая и электронная микроскопия), так и состояние тонкой структуры (рентгеноструктурный анализ) [7].

Циклический нагрев образцов стали 65Г с последующим охлаждением на воздухе способствует сферидизации исходно пластинчатой структуры стали. Особенно четко эта картина наблюдается при нагреве стали в субкритической области температуры 450° , 570° и 700°C (табл. 3).

Уровень дефектности кристаллического строения стали 65Г после циклической обработки в интервале докритических температур мало зависит от температуры циклирования и количества циклов. Только нагрев выше критической температуры A_{c1} с последующим охлаждением на воздухе формировали менее равновесные структуру и повышенную дефектность кристаллического строения.

Несколько иные результаты имеют место при проведении окончательной индукционной закалки и низкого отпуска. Образцы после различных вариантов термической обработки имели одинаковую микроструктуру, величину зерна и твердость (59-60 HRC), отличие имелось в уровне дефектности кристаллического строения (рис.1 (а)). Из рис. 1 (а) можно обнаружить некоторые преимущества при проведении 2-х-5 циклов при 450°C . При других

температурах предварительной циклической обработки уровень дефектности кристаллического строения получается либо ниже, либо этот эффект не стабилен (например, при 550° и 700°С).

Таблица 3

Изменение свойства стали 65Г после циклирования с последующим охлаждением на воздухе

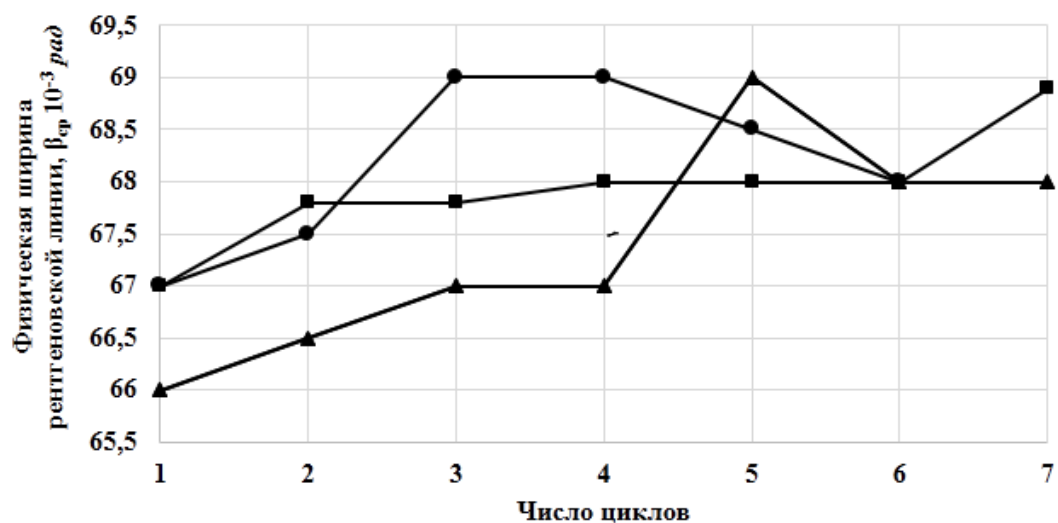
№	Методы исследования	Количество циклов				
		1 цикл	2 цикл	3 цикл	4 цикл	5 цикл
Нагрев до 450°С						
1.	Твердость, НВ	269	255	241	241	255
2.	Среднее значение ширины рентгеновской линии $\beta_{cp} \cdot 10^{-3}$ рад	9,87	9,45	9,69	9,27	9,88
Нагрев до 550°С						
1.	Твердость, НВ	241	229	241	207	207
2.	Среднее значение ширины рентгеновской линии $\beta_{cp} \cdot 10^{-3}$ рад	9,1	9,59	8,71	8,3	8,3
Нагрев до 700°С						
1.	Твердость, НВ	229	217	207	255	285
2.	Среднее значение ширины рентгеновской линии $\beta_{cp} \cdot 10^{-3}$ рад	9,88	8,72	9,3	12,5	12,8

Наблюдаемые эффекты можно объяснить созданием условий для микропластической деформации из-за интенсивных теплосмен. Наличие второй фазы также способствует микропластической деформации из-за различия термического расширения фаз. Таким образом происходит развитие дислокационной структуры, а повышенная температура ведет к полигонизации. Полигонизационная структура, хотя и не имеет высокий уровень дефектности кристаллического строения, обладает высокой термической стабильностью. При повторном нагреве, выше точки фазового превращения, полигонизованные структуры обеспечивают создание структур с высокой плотностью дислокаций.

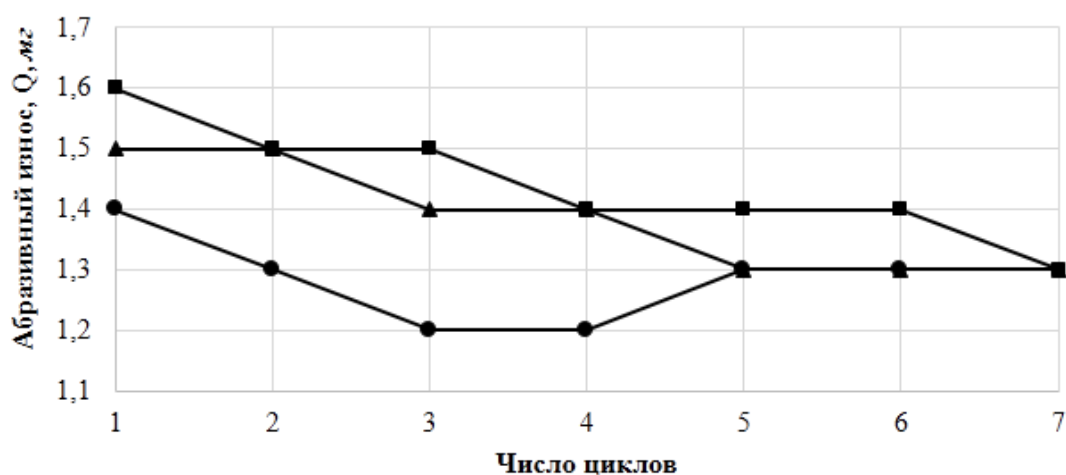
При циклической обработке при температурах более 450°С интенсивно проходит рекристаллизация и полигональных структур не образуется.

Однако индукционная закалка после предварительной циклической обработки при 450°С не дает существенного роста плотности дислокаций по сравнению с обычной индукционной закалкой. При одном уровне твердости разница физической ширины рентгеновской линии (220) достигает $5 \cdot 10^{-3}$ рад. (рис. 1).

Результаты испытаний на изнашивание согласуются с данными микро- и субмикроскопических исследований образцов. Это отличие и сказалось при испытаниях на абразивное изнашивание незакрепленного абразивного материала (рис.1. б).



а)



б)

Рисунок 1 - Изменения уровня дефектности кристаллического строения (физической ширины рентгеновской линии 220) (а) и абразивного износа (б) стали 65Г после циклической обработки различных температур и количествах, последующего индукционного нагрева, закалки в масло и отпуска 180 °С. Термический режим: 1-нагрев 450 °С, закалка и отпуск 200 °С, 2- нагрев 570 °С, закалка и отпуск 200 °С, 3- нагрев 700 °С, закалка и отпуск 200 °С

Циклическая термическая обработка стали 65Г может создать структуру с более высоким уровнем плотности дефектов кристаллического строения. Оптимальным вариантом следует считать режим, включающий предварительное циклирование с нагревом 450 °С. Циклическая термическая обработка по оптимальным режимам стали 65Г может обеспечить повышения износостойкости около 30%, по сравнению обычного индукционного нагрева до

900 °С и 2 раза больше абразивной износостойкости сталей стандартной закалки.

Высокая износостойкость стали 65Г после циклической закалки и низкого отпуска является следствием максимального использования возможностей закаленной стали в повышении износостойкости (максимальная твердость и повышенная плотность дефектов кристаллического строения). Преимущество термоциклической обработки заключается в экономии большого количества электроэнергии и газообразного углерода, обеспечении долговечности деталей шестерен и вал-шестерен для хлопкоуборочных машин.

В настоящее время по этой теме продолжается совместная научно - исследовательская работа АО «Агрегатный завод» и кафедры «Обработка металлов давлением» Механического факультета Ташкентского государственного технического университета им. Ислама Каримова.

Библиографический список

1. Евдокимов А.И., Зелин М.Г., Коротков В.А. Циклическая закалка стали ХВГ // МиТОМ, 2002. №9. С. 33 – 34.
2. Бердиев Д.М. Повышение абразивной износостойкости сталей // Техника и технологии машиностроения // VI международная конференция, г. Омск. 20-21 апреля 2017. С. 3 - 8.
3. Тененбаум М.М. Сопротивление абразивному изнашиванию – М.: Машиностроение, 1976. - 267 с.
4. Брыков Н.М., Ефременко В.Г., Ефременко А.В. Износостойкость сталей и чугунов при абразивном изнашивании. - Херсон: Гринь Д.С., 2014. – 364 с.
5. Мухамедов А.А., Тилабов Б.К. Повышение износостойкости деталей с твердосплавными покрытиями термической обработкой // Известия ВУЗов. Черная металлургия, 2013. №12. С. 35 - 37.
6. Горелик С.С., Скаков Ю.А., Расторгуев Л.Н. Рентгенографический и электронно-оптический анализ - М.: МИСИС, 1994. - 328 с.
7. Батаев В.А., Батаев А.А., Алхимов А.П. Методы структурного анализа материалов и контроля качества деталей - М.: Наука, 2007. - 224 с.