

УДК 621.9.92:669.917.539.41

В. И. Бутенко, Р. Г. Кадач

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Россия

Тел./Факс: +7-928-600-57-61; E-mail: butenkowiktor@yandex.ru

ВЛИЯНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ УСТАЛОСТИ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ИЗДЕЛИЙ ИЗ ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ

Выполнены исследования влияния циклического термодинамического нагружения стальных образцов на их эксплуатационные свойства, такие как износостойкость и усталостную прочность. Показано, что совместное действие силового и температурного факторов приводит к увеличению интенсивности изнашивания поверхностного слоя при циклическом нагружении, а также снижает его сопротивляемость усталостному разрушению при совместном действии крутящего и изгибающего моментов.

Ключевые слова: термодинамическая усталость, конструкционная сталь, циклическое нагружение, износостойкость, усталостная прочность.

V. I. Butenko, R. G. Kalach**THE EFFECT OF THERMODYNAMIC FATIGUE ON THE PERFORMANCE PROPERTIES OF PRODUCTS MADE OF IRON-CARBON ALLOYS**

Researches have been carried out of the influence of cyclic thermodynamic loading of steel samples on their operational properties, such as wear resistance and fatigue strength. It has been shown that the combined action of force and temperature factors leads to an increase in the wear rate of the surface layer under cyclic loading, and also reduces its resistance to fatigue failure under the combined action of torsional and bending moments.

Keywords: thermodynamic fatigue, high-speed steel, cyclic loading, wear resistance, fatigue strength.

1. Введение

В процессе обработки деталей резанием обрабатываемый и инструментальный материалы подвергаются циклическому температурному воздействию и динамическому нагружению, включающему силу резания и её колебания, что является одной из основных причин вибрации технологической системы. Такое циклическое температурно - динамическое воздействие на обрабатываемый и инструментальный материалы оказывает влияние на качество получаемого поверхностного слоя обрабатываемой детали и стойкость используемого инструмента, что особенно чётко проявляется в изделиях из железоуглеродистых сплавов, так как они имеют сложную структуру, изменяющуюся под влиянием высоких значений температур и давлений в зоне резания [1, 2]. Учитывая, что углеродистые инструментальные стали и быстрорежущие стали имеют структуру и характер изменения свойств аналогичные конструкционным сталям, было принято допущение о том, что результаты исследования термодинамической усталости конструкционных сталей справедливы для инструментальных и быстрорежущих сталей.

Целью настоящих исследований является изучение влияния циклического термодинамического нагружения стальных образцов на их эксплуатационные свойства, оценивающиеся, например, износостойкостью и усталостной прочностью материалов деталей из железоуглеродистых сплавов и тому подобным.

2. Влияние циклического температурного воздействия на интенсивность изнашивания материала поверхностного слоя образцов

Исследования интенсивности изнашивания материала поверхностного слоя образцов из стали 12ХН3А проводились на машине трения с использованием дисковых образцов [3]. Испытания образцов на усталостную прочность осуществлялось с использованием образцов, имеющих диаметр рабочей части 10 мм, на специальной установке, описание которой приведено в работе [4].

В качестве контртел при исследовании интенсивности изнашивания материала поверхностного слоя образцов использовались кольцевые тела их быстрорежущей стали Р6М5, подвергнутые термической обработке до твёрдости $HRC\ 62\dots 65$ [3]. Предварительно рабочие поверхности исследуемых образцов и контртел подвергались шлифованию и имели шероховатость $Ra = (0,6 - 0,8)$ мкм.

Нагрев исследуемых образцов осуществлялся в муфельной печи ЭКСП-10, позволяющей устанавливать температуру нагрева в диапазоне от 200° до $1250^\circ C$. Цикл состоял из нагрева исследуемого образца в муфельной печи до заданной температуры и выдержки при ней в течение 1 мин с последующим охлаждением образца вне печи обдувом воздуха в течение 1 мин.

Исследования на интенсивность изнашивания материала поверхностного слоя образцов проводились без смазки на постоянных режимах трения: давление контактных поверхностей исследуемого образца и контртела $p = 0,428$ МПа ($P = 75$ Н), средняя скорость скольжения $V_{ск} = 0,1$ м/с ($n = 100$ об/мин). Вращение задавалось контртелу. Продолжительность контактного взаимодействия контртела с поверхностью исследуемого образца составляла 10 мин. Весовой износ образца определялся путём взвешивания его до и после испытания на аналитических весах мод. АД-200.

На рис. 1 приведены графики зависимостей интенсивности изнашивания образцов ΔI от числа циклов температурного воздействия n_θ при значениях температуры нагрева $\Theta_1 = 250^\circ C$ (кривая 1), $\Theta_2 = 300^\circ C$ (кривая 2) и $\Theta_3 = 350^\circ C$ (кривая 3). Анализ полученных зависимостей свидетельствует о существенном влиянии числа циклов температурного воздействия на интенсивность изнашивания материала поверхностного слоя образцов.

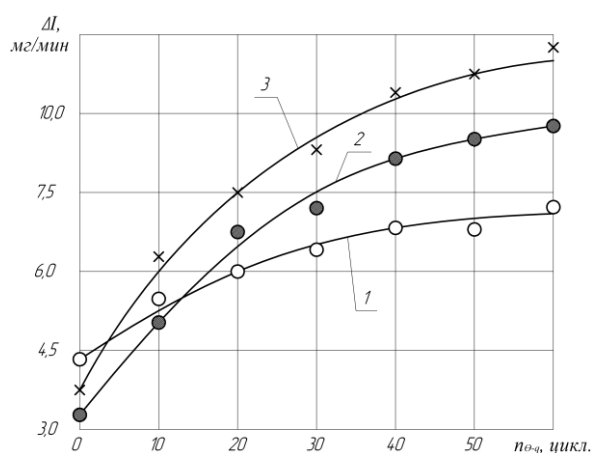


Рисунок 1. Зависимость интенсивности изнашивания материала поверхностного слоя образцов ΔI от числа циклов температурного воздействия n_θ 1 – $\Theta_1 = 250^\circ C$; 2 – $\Theta_2 = 300^\circ C$; 3 – $\Theta_3 = 350^\circ C$ (пара трения «сталь 12ХН3А – быстрорежущая сталь Р6М5», $p = 0,428$ МПа, $V_{ск} = 0,1$ м/с)

3. Влияние циклического температурного воздействия на усталостную прочность (выносливость) материала образцов

Влияние числа циклов температурного воздействия на усталостную прочность материала образцов оценивалось сопротивляемостью их действию крутящего и изгибающего моментов при различных значениях температур циклического нагрева. Образцы подвергались совместному воздействию крутящего $M_{кр}$ и изгибающего $M_{изг}$ моментов, равных $M_{кр} = 1,2 \text{ Н}\cdot\text{м}$ ($\tau_{кр} = 6 \text{ МПа}$) и $M_{изг} = 5 \text{ Н}\cdot\text{м}$ ($\sigma_{изг} = 25 \text{ МПа}$). В качестве оценочного показателя было принято число оборотов образца N_o до его разрушения от совместного воздействия, крутящего и изгибающего моментов.

На рисунке 2 приведены графические зависимости изменения сопротивляемости образцов совместному действию, крутящего и изгибающего моментов по показателю.

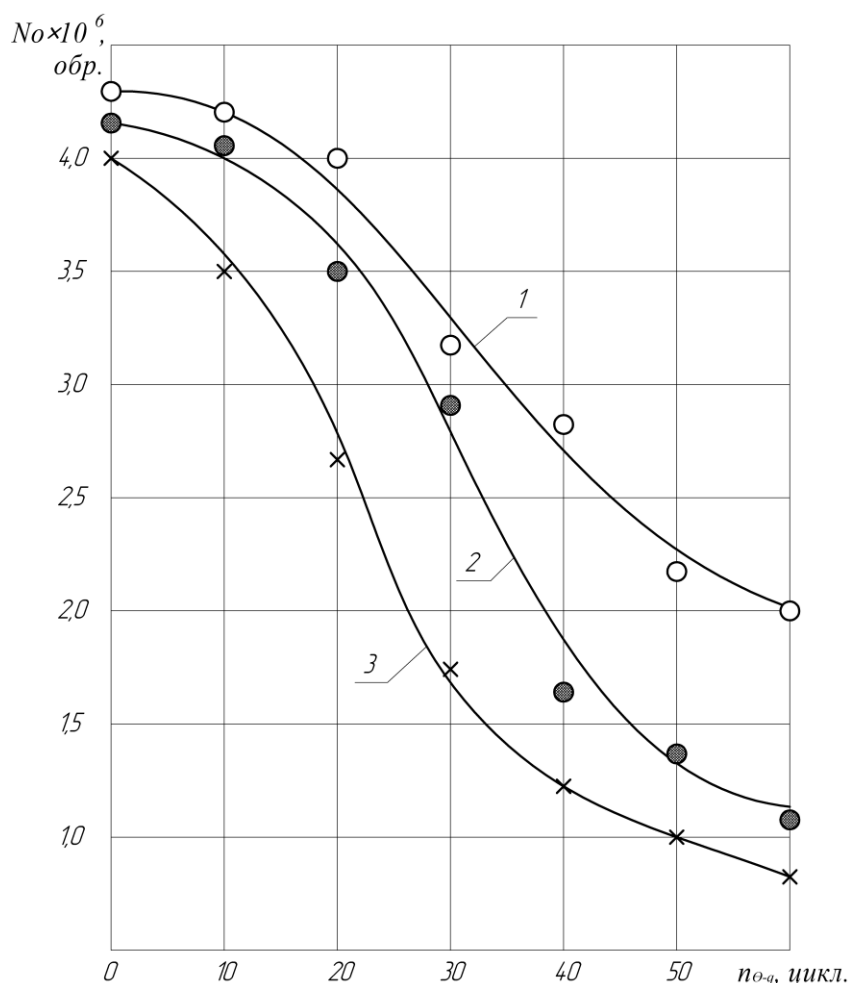


Рисунок 2. Зависимости сопротивления образцов совместному действию, крутящего и изгибающего моментов N_o от числа циклов температурного воздействия n_{Θ} : 1 - $\Theta_1 = 250^\circ\text{C}$; 2 - $\Theta_2 = 300^\circ\text{C}$; 3 - $\Theta_3 = 350^\circ\text{C}$ (сталь 12ХН3А, $M_{кр} = 1,2 \text{ Н}\cdot\text{м}$, $M_{изг} = 5 \text{ Н}\cdot\text{м}$)

N_o от числа циклов температурного воздействия на них n_{Θ} при различных значениях температуры нагрева: $\Theta_1 = 250^\circ\text{C}$ (кривая 1); $\Theta_2 = 300^\circ\text{C}$ (кривая 2); $\Theta_3 = 350^\circ\text{C}$ (кривая 3).

Анализ полученных результатов испытаний показывает, что циклическое температурное воздействие на материал образца также снижает его сопротивляемость уста-

лостному разрушению при совместном действии крутящего и изгибающего моментов. При этом сопротивляемость материала образцов усталостному разрушению снижается не пропорционально увеличению температуры циклического нагрева Θ .

4. Влияние величины циклической термо-силовой нагрузки на интенсивность изнашивания материала поверхностного слоя образцов при постоянной циклической температуре нагрева их

Для исследования влияния величины циклической нагрузки на интенсивность изнашивания материала поверхностного слоя образцов при постоянной циклической температуре нагрева использовалась специальная струбцина (рис. 3), позволяющая производить нагрев исследуемых образцов в муфельной печи, находящихся под нагрузкой. Для её создания использовался электрогидравлический пресс мод. Р 342М. В исследованиях образцы нагружались силами: $Q_1 = 1500$ Н ($q_1 = 0,315$ МПа), $Q_2 = 2000$ Н ($q_2 = 0,418$ МПа), , $Q_3 = 2500$ Н ($q_3 = 0,525$ МПа), Температура нагрева образцов в муфельной печи была принята постоянной и составляла $\Theta = 300^\circ\text{C}$.

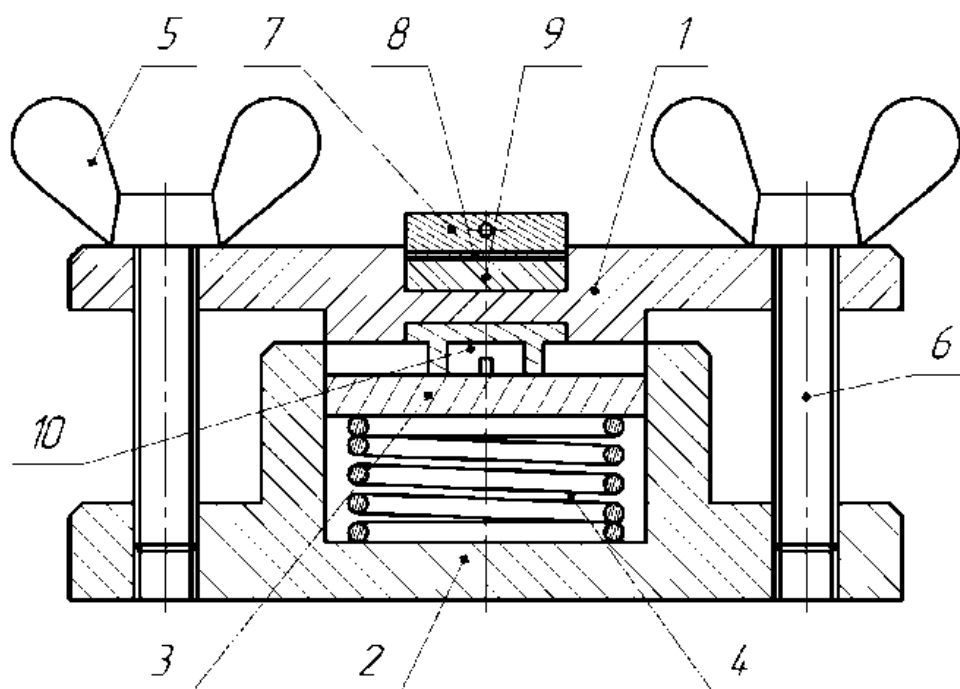


Рисунок 3. Схема струбцины для нагружения образцов: 1 – плита верхняя; 2 – основание; 3 – планка; 4 – пружина; 5 – гайка барашковая; 6 – винт; 7 – тензодатчик из тепло-непроводящего материала с тензорезисторами; 8 – образец для испытаний

Результаты выполненных исследований приведены на рис. 4, из анализа которого следует, что силовое нагружение материала образцов совместно с температурным воздействием приводит к увеличению интенсивности изнашивания поверхностного слоя образцов ΔI от числа циклов температурно-силового нагружения $n_{\theta-q}$. При этом увеличение интенсивности изнашивания ΔI при постоянной температуре нагрева пропорционально величине силового воздействия.

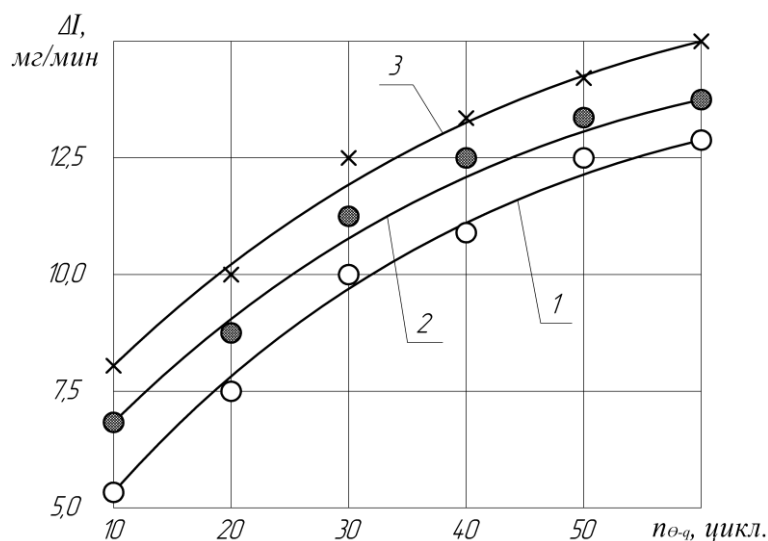


Рисунок 4. Зависимости изменения интенсивности изнашивания поверхности образцов ΔI от числа циклов температурно-силового нагружения $n_{\theta-q}$ при $\Theta = 300^{\circ}\text{C}$, $p = 0,428$ МПа, $V_{ск} = 0,1$ м/с: 1 – $Q_1 = 1500$ Н ($q_1 = 0,315$ МПа), $Q_2 = 2000$ Н ($q_2 = 0,418$ МПа), $Q_3 = 2500$ Н ($q_3 = 0,525$ МПа)

Уменьшение износостойкости и усталостной прочности материала образцов, по-видимому, можно объяснить изменением структуры материала образцов при циклическом температурно-силовом воздействии на него, приводящем к ослаблению межкристаллитных связей и появлением внутри него субмикротрещин [1, 5. 6]. Об этом свидетельствуют металлографические исследования материала поверхностного слоя образцов, подвергнутых термодинамическому нагружению (рис. 5)

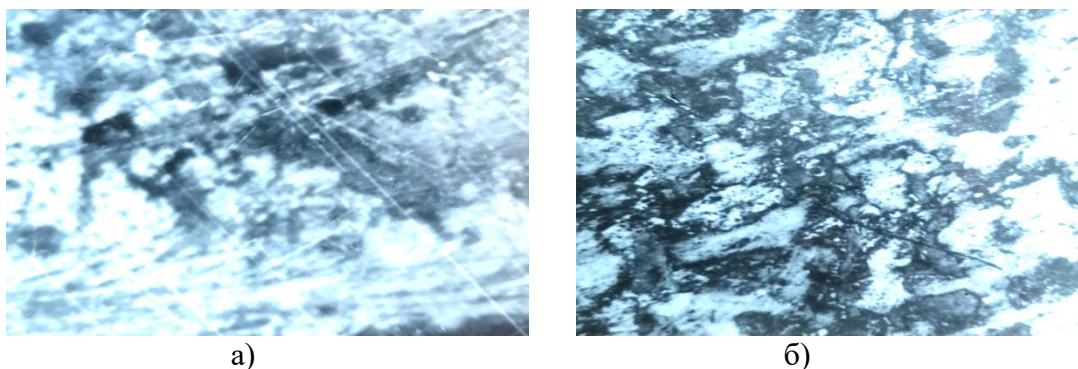


Рисунок 5. Фотографии структуры материала поверхностного слоя образцов из стали 12ХН3А в начальном состоянии (а) и после температурно-силового воздействия продолжительностью $n_{\theta-q} = 50$ циклов (б, $\Theta = 300^{\circ}\text{C}$, $Q = 2500$ Н). Увеличение 100

5. Заключение

Выполненные исследования влияния циклического температурного и термодинамического нагружения стальных образцов из стали 12ХН3А показали, что совместное действие силового и температурного факторов существенно влияют на интенсивность изнашивания и на усталостную прочность железоуглеродистых сплавов. Степень результирующего влияния данных факторов имеет функциональную зависимость от

числа циклов нагружения. Результаты исследований дают основания полагать, что установленная зависимость эксплуатационных свойств конструкционной стали от термодинамической усталости проявляется в инструментальных материалах, о чём свидетельствуют данные, приведённые в работе [2].

ЛИТЕРАТУРА:

1. Бутенко, В. И. Структура и потенциал трибоконтакта поликристаллических материалов / В. И. Бутенко. – Ростов-на-Дону: Изд. центр ДГТУ, 2018. – 160 с.
2. Бутенко, В. И. Исследование влияния термодинамической усталости быстрорежущей стали на стойкость свёрл при различных способах заточки / В. И. Бутенко, Р. Г. Кадач. // Современные тенденции развития инструментальных систем и комплексов: сб. тр. Всероссийской (региональной) науч.-техн. конф. – Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2024. – С. 112 – 117. <https://ntb.donstu.ru/content/2024727>.
3. Бутенко, В. И. Научные основы нанотрибологии / В. И. Бутенко. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2010. – 275 с.
4. Бутенко, В. И. Отделочно-упрочняющая обработка деталей: технологии и их эффективность / В. И. Бутенко. – Ростов-на-Дону: Изд. центр ДГТУ, 2020. – 220 с.
5. Кузнецов, В. П. Теоретическое обоснование и реализация наноструктурирующего выглаживания при обработке прецизионных прецизионных деталей из конструкционных сталей / Кузнецов Виктор Павлович: дисс. ... д-ра техн. наук; 05.02.07 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки. – Курган, 2013. – 341 с.
6. Бутенко, В. И. Структура и свойства поверхностного слоя деталей трибосистем / В. И. Бутенко. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2012. – 367 с.

Поступила в редколлегию 05.02.2024