

УДК 539.4.013.3:669

ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ И СХЕМЫ НАГРУЖЕНИЯ НА ПОКАЗАТЕЛИ СОПРОТИВЛЕНИЯ УСТАЛОСТИ СТАЛИ 60С2А

Мыльников В.В., Беляев Е.С., Шетулов Д.И., Чернышов Е.А.

ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева»,
Нижний Новгород, e-mail: mrmynikov@mail.ru

Рассмотрено влияние термической обработки и вида испытания на циклическую прочность и долговечность стали 60С2А с позиций повреждаемости поверхности на показатели сопротивления усталости и предела выносливости. Выявлены соответствующие закономерности.

Ключевые слова: повреждаемость поверхности, сопротивление усталости, прочность, долговечность, предел выносливости

EFFECT OF HEAT TREATMENT AND CIRCUIT LOADING ON INDICATORS OF FATIGUE RESISTANCE OF STEEL 60C2A

Mylnikov V.V., Belyaev E.S., Shetulov D.I., Chernyshov E.A.

Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, Nizhniy Novgorod,
e-mail: mrmynikov@mail.ru

The influence of heat treatment and the type of tests on the cyclic strength and durability of steel 60C2A from positions of damage to the surface on the performance of fatigue resistance and fatigue strength. Identified the relevant laws.

Keywords: surface damaging, fatigue resistance, strength, durability, endurance limit

В настоящее время механическое оборудование работает в широком диапазоне напряжений и долговечности от области малоциклового нагружения до базового числа циклов усталости [1-2, 6-7]. Фиксированная величина, предел выносливости не соответствует надежной оценке сопротивления усталости деталей машин и конструкций. Чтобы указанная оценка была более надежной, должны фигурировать две величины: напряжение (ограниченный предел выносливости σ) и долговечность (количество циклов до разрушения N). Тогда следует ввести показатель, выражаемый отношением приращения напряжения $d\sigma$ к приращению долговечности dN . Таким образом, получаем тангенс угла наклона касательной к кривой усталости и соответственно к оси N . Сравнение поведения разных металлов по тангенсу угла наклона, записанному в виде отношения $\frac{d\sigma}{dN}$ является сложным, так как в каждый последующий момент описанная функция насыщается. Таким образом, обычные координаты $\sigma - N$ не являются удобными. Удобными координатами являются логарифмические. Они удобны тем, что кривые усталости, в сущности, превращаются в прямые.

$\text{tg } \alpha_w = \frac{d \lg \sigma}{d \lg N}$ представляет собой постоянную величину, что позволяет проводить обобщения широкой гаммы материалов и условий их испытания. Наклон $\text{tg } \alpha_w$

зависит от ряда различных факторов. Факторы, определяющие природу усталости, так или иначе влияют на положение кривой в координатах $\lg \sigma - \lg N$, поэтому наклон $\text{tg } \alpha_w$ может выступать как характеристика, отображающая физические явления, происходящие в образцах (деталях), а точнее, в их поверхностных слоях, которые имеют свойства, отличные от свойств глубинных слоев материала. В материале этих слоев при деформации деталей происходят физические процессы повреждаемости [3 – 5].

Цель работы – оценка циклической прочности и долговечности стали 60С2А по повреждению поверхностных слоев материала при разной термической обработке и разными схемами нагружения.

Материалы и методы исследования

Повреждение поверхности оценивалось по изменению микроструктуры материала под действием циклических напряжений. В качестве оценочной характеристики служат полосы скольжения, возникающие на шлифе образца, изготовленного в зоне наибольших напряжений. Испытания осуществлялись по схеме консольного изгиба с вращением и схеме циклического кручения цилиндрических образцов диаметром 5 мм.

Испытания образцов обрабатывались методом математической статистики с построением «спрямленных» кривых усталости по уравнению:

$$\lg \sigma = (\lg \sigma)_0 - \text{tg } \alpha_w \lg N$$

при удовлетворительном коэффициенте корреляции ($K_{\text{кор}}$), где σ – напряжение соответствующее долговечности N ; σ_0 – напряжение отсекаемое кривой

усталости при $N=1$; $g \alpha_w$ – наклон левой ветви кривой усталости; N – количество циклов до разрушения или долговечность;

Результаты исследования и их обсуждение

Сталь марки 60С2А, испытанная в состоянии поставки и термообработки, показывает среднюю величину наклона левой ветви кривой усталости – $tg \alpha_w$ (рис. 1). Исследование структуры позволило установить, что на поверхности образцов возникают глубокие, извилистые полосы скольжения, расположенные на большом расстоянии друг от друга (рис. 2). Растровый электронный микроскоп позволяет видеть глубокие полосы скольжения с равными краями (рис. 3). Повреждаемость поверхности также близка к средней ве-

личине. Вид испытания и термическая обработка значительно сказывается на показателях сопротивления усталости. Закалка образцов на категорию прочности HRC = 52 и по схеме консольного изгиба с вращением, и при циклическом кручении приводит к существенному увеличению предела выносливости σ_{-1} .

При испытании образцов в состоянии поставки более сильно увеличивается $tg \alpha_w$, чем у закаленных. По сравнению с закаленными образцами предел выносливости при изменении вида испытания изменяется менее существенно. Следует отметить, что при испытании серии образцов (рис. 1, кривая усталости 3) наблюдается существенный разброс экспериментальных данных, о чем свидетельствует низкое значение коэффициента корреляции $K_{кор} = 0,7747$.

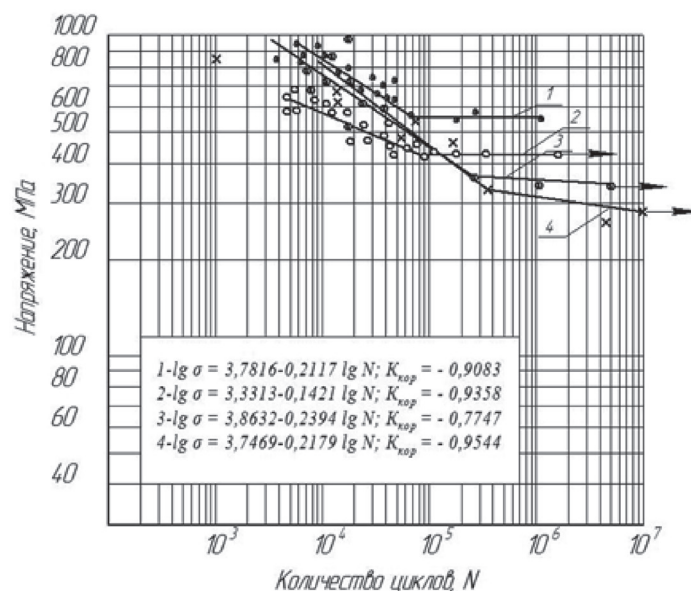


Рис. 1. Кривые усталости стали 60С2А при температуре испытаний 20°C:
1,3 – термообработка на HRC = 52; 2,4 – состояние поставки; 1,2 – вращение изогнутого образца; 3,4 – циклическое кручение образца $K_{кор}$ – коэффициент корреляции, показывает степень сходимости построенной кривой усталости с результатами эксперимента

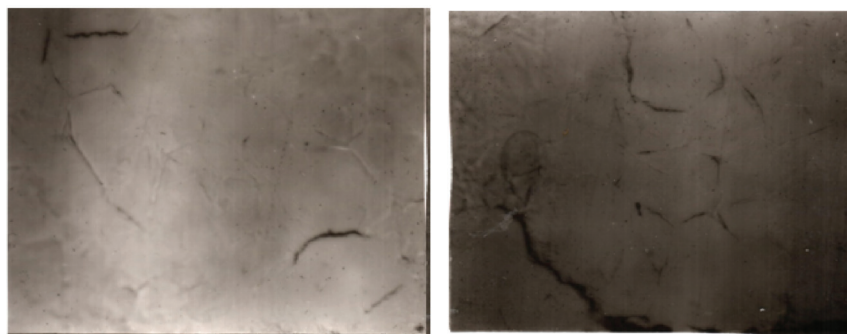


Рис. 2. Полосы скольжения на поверхности образца диаметром 5 мм из стали марки 60С2А, закаленного на HRC = 52, испытанного при вращении изогнутого образца до разрушения при температуре 20°C; ($\times 440$); $\sigma = 416$ МПа; $N = 9,21 \cdot 10^4$ циклов; шлиф не травлен: а) и б) разные места на шлифе образца

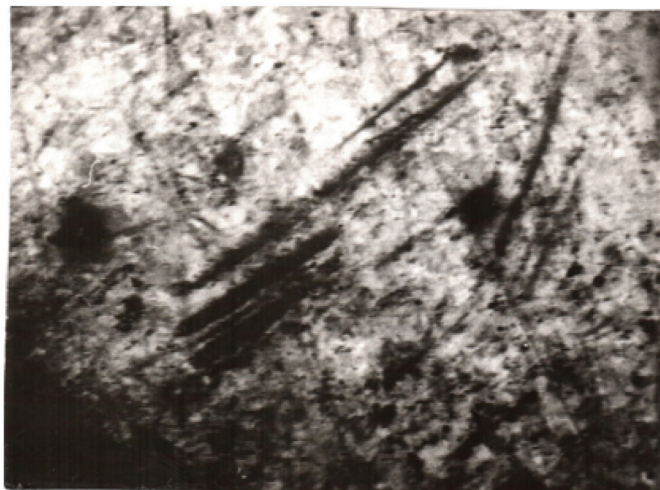


Рис. 3. Микроструктура стали марки 60C2A ($HRC = 52$) после деформации изгиба вращающегося образца; ($\times 1600$); $\sigma = 550$ МПа; $N = 14250$ циклов.
Снимок получен на растровом электронном микроскопе

Заключение

В результате экспериментальных исследований у стали марки 60C2A выявлена закономерность соответствия показателя сопротивления усталости и повреждаемости материала поверхностных слоев образца. Соблюдается правило: чем больше повреждаемость, тем хуже сопротивляется материал усталости (больше $\lg \alpha_w$).

Установлено, что вид испытания (смягчение схемы нагружения – консольный изгиб с вращением) и термическая обработка образцов из стали 60C2A способствуют увеличению предела выносливости и «улучшению» показателей сопротивления усталости.

Список литературы

1. Иванова В.С., Шанявский А.А. Количественная фратография. Усталостное разрушение. – М.: Металлургия, 1988. – 399 с.

2. Мак-Ивили А. Дж. Анализ аварийных разрушений / пер. с англ. Э.М. Лазарева, И.Ю. Шкадиной; под. ред. Л.Р. Ботвиной. – М.: Техносфера, 2010. – 416 с.

3. Мыльников В.В. Прогнозирование прочности и долговечности конструкционных материалов с учетом частоты циклического нагружения: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Нижний Новгород, 2010. – 18 с.

4. Мыльников В. В., Шетулов Д. И., Чернышов Е.А. Об оценочных критериях долговечности углеродистых сталей // Технология металлов. 2010. № 2. С.19-22.

5. Мыльников В.В., Чернышов Е.А., Шетулов Д.И. Влияние частоты циклического нагружения на сопротивление усталости высокопрочных конструкционных материалов // Заготовительные производства в машиностроении. 2009. № 2. С. 33-36.

6. Терентьев В. Ф. Усталостная прочность металлов и сплавов. – М.: Интермет инжиниринг, 2002. – 288 с.

7. Mughrabi H., Christ H. – J. Cyclic deformation and fatigue of selected ferritic and austenitic steels; specific aspects // ISIJ International. 1997. Vol. 37. № 12. P. 1154 – 1169.