

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Логвинов А.Н., Трезуб В.И. и др. Характеристики образцов для механических испытаний волокнистых композиционных материалов / Проблемы прочности. 1993. № 6. С. 82–87.
2. Логвинов А.Н., Трезуб В.И., Колеров О.К. Образец для испытаний волокнистых композиционных материалов / Измерительная техника. 1993. № 10. С. 39–40.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ТЕРМОПЛАСТИЧЕСКОГО УПРОЧНЕНИЯ ДЛЯ ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ

Малыхин А.Н.

*Самарский государственный технический университет
443010 Самара, ул. Галактионовская, 141*

АННОТАЦИЯ. Представлены результаты исследований возможности применения нагрева лазерным излучением в процессе термопластического упрочнения жаропрочных сплавов на никелевой основе.

В современных газотурбинных двигателях ряд деталей, таких как: лопатки, диски, дефлекторы и др. работают в условиях повышенных нагрузок и высоких температур. Использование метода термопластического упрочнения (ТПУ) для повышения надежности и долговечности деталей дает положительный эффект. ТПУ является одним из методов, позволяющих получить необходимое сочетание величин деформационного упрочнения и остаточных сжимающих напряжений в поверхностном слое.

Процесс ТПУ был разработан профессором Б.А. Кравченко. Ряд работ посвящен исследованию процесса ТПУ при индукционном нагреве лопаток газотурбинных двигателей (ГТД).

Авторы [1, 2] отмечают преимущества ТПУ по сравнению с другими методами повышения долговечности и надежности деталей. Однако индукционный нагрев имеет ограничения по локальности воздействия и по возможности упрочнения труднодоступных мест деталей. В этой связи представляет интерес возможность реализации метода ТПУ с использованием лазерного излучения.

С этой целью были проведены эксперименты по упрочнению образцов из жаропрочного сплава ЭИ698 (ХН73МВТЮ). Источником нагрева служил CO_2 - лазер "Латус 31" со средней мощностью 1000 Вт. Схема установки приведена на рис. 1.

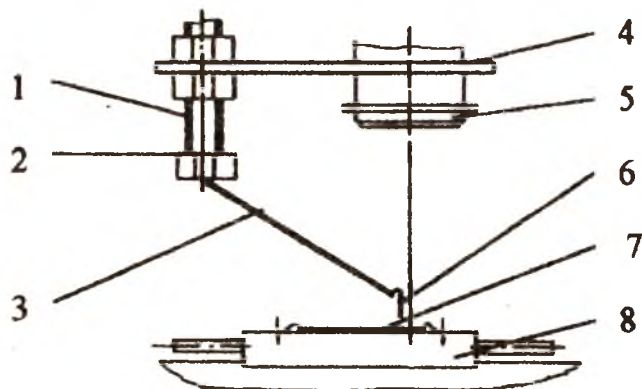


Рис.1. Схема установки для ТПУ с лазерным нагревом

Перемещение образца 7 при обработке осуществлялось подвижным столом 8. Фокусировка излучения производилась объективом 5. К тубусу объектива держателем 4 крепилась система охлаждения: пять металлических трубок 3 диаметром 2 мм, равномерно подающих охлаждающую среду в зону обработки; гайка 2, крепящая трубки к резьбовой втулке 1. Формирователь потока газа 6 служил для направленной по-

дачи воздуха на нагретый участок образца. Давление воздуха в магистрали, подключенной к резьбовой втулке 1, равнялось 6 атм.

Экспериментальное определение остаточных напряжений проводилось по методике Н.Н. Давиденкова [3]. Специальная установка помещалась в ванну 1 с электролитом (рис. 2), который для жаропрочных сталей на никелевой основе имеет состав, приведенный в работе [3].

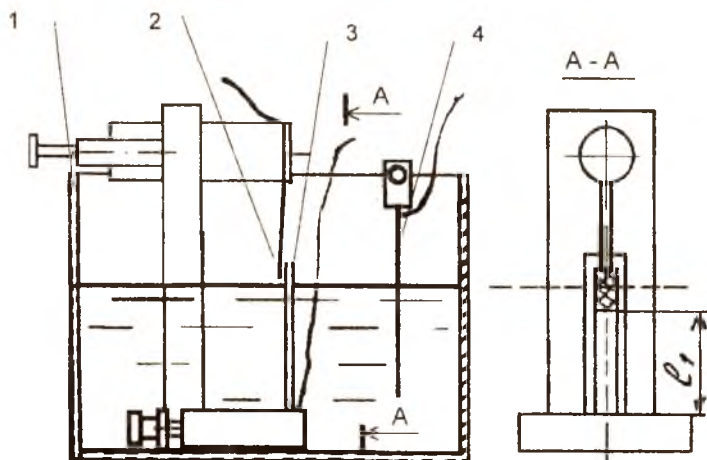


Рис.2. Схема установки для определения величины остаточных напряжений

Образец 3 покрывали тонким слоем хлорвинилового лака, оставляя непокрытой лишь часть поверхности длиной $l_1 = 30$ мм (см. рис. 2). К образцу от выпрямителя подводился положительный полюс, а к свинцовому экрану 4 — отрицательный. Уровень электролита должен быть таким, чтобы непокрытая лаком поверхность образца была полностью погружена. В процессе электрополирования при плотности тока 20–25 А/дм² последовательно снимаются тонкие слои металла с непокрытой лаком части образца. При удалении этих слоев

прекращается воздействие на образец остаточных напряжений, имевшихся в удаляемых слоях. Это приводит к тому, что образец изгибается. Изгиб образца воспринимается пластинкой 2. Изменение прогиба пластинки приводит к тому, что один из наклеенных на ней тензодатчиков увеличивает свое сопротивление, а второй уменьшает. Это, в свою очередь, приводит к разрегулированию моста электросхемы, показанной на рис. 3.

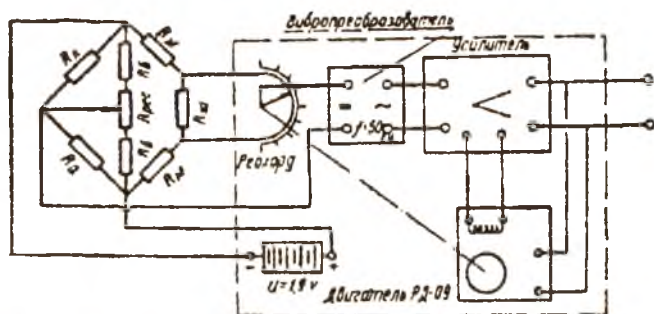


Рис. 3. Блок-схема измерителя деформаций

Реохорд приходит в движение, стремясь отрегулировать мостовую схему. Стрелка, связанная с реохордом, показывает величину прогиба образца f на специально отградуированной шкале. При неизменной температуре электролита скорость травления, как показывают опыты [3], примерно постоянна. Исходя из этого, толщина снятого слоя в минуту определялась на основании измерений толщины образца до и после травления и соответствующих подсчетов.

Величина остаточных напряжений определялась по следующей формуле [3]:

$$\sigma_0 = \frac{4E}{3l^2} \left[(h-a)^2 \cdot \frac{df_0}{da} - 4(h-a) \cdot f \right],$$

где E – модуль упругости испытуемого образца, МПа,
 a – толщина образца, мм;

l – длина непокрытой лаком поверхности, мм;
 df_0 – изменение стрелки прогиба пластинки, соответствующее снятому слою da , мм;
 f – прогиб образца, мм.

Значения прогиба образца f и стрелки прогиба пластинки для размеров наших образцов связаны между собой [3]:

$$\delta f_0 = 0,22 f$$

В результате экспериментов установлено, что при обработке без оплавления глубина поверхностного слоя, содержащего остаточные напряжения сжатия, составила примерно 100 мкм, величина остаточных напряжений $\sigma_0 = 215$ МПа.

Увеличение расстояния от объектива до образца приводит к уменьшению температуры нагрева последнего, что приводит к снижению величины остаточных напряжений в поверхностном слое образца.

Добавление паров жидкого азота к воздуху при охлаждении образца приводит к увеличению избыточной температуры, что незначительно увеличивает остаточное напряжение в поверхностном слое.

Уменьшение числа проходов лазерного луча по ширине образца приводит к снижению величины остаточных напряжений.

Уменьшение мощности излучения, приводящее к уменьшению температуры нагрева поверхности образца, снижает величину остаточных напряжений.

Данные приведенных исследований показывают:

1 – используя лазерный нагрев с одновременным охлаждением газовой смесью, можно сформировать в поверхностном слое образцов остаточные напряжения сжатия,

2 – при достаточной мощности лазерного излучения с одновременным охлаждением можно проводить процесс сварки. При этом в зоне сварного шва формируются остаточные напряжения сжатия относительно большой величины. Этот факт имеет большое значение для сварных деталей, работающих при знакопеременных нагрузках.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кравченко Б.А., Салугин Э.К. Формирование остаточных напряжений при нагреве токами высокой частоты с одновременным и последующим охлаждением. – Тр. КуАИ, 1970, Вып 43, с 27 – 27.
2. Кравченко Б.А., Папшев Д.Д. Повышение выносливости и надежности деталей машин и механизмов. Куйб. книж. изд. 1966, 222 с.
3. Кравченко Б.А. Силы, остаточные напряжения и трение при резании металлов. Куйб. книж. изд. 1962.

ДЕФОРМАЦИЯ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МНОГОФАЗНЫХ СПЛАВОВ

Носкова Н. И.

Институт физики металлов УрО РАН
620219 Екатеринбург, ГСП-170, ул. С.Ковалевской, 18
E-mail: noskova@imp.uran.ru

АННОТАЦИЯ. Рассмотрены результаты исследования строения нанозерен и их границ, а также - прочности и пластичности многофазных сплавов в нанокристаллическом состоянии. Сплавы на железной, кобальтовой и палладиевой основах ($\text{Fe}_{73.5}\text{Nb}_3\text{Cu}_1\text{Si}_{13.5}\text{B}_9$, $\text{Fe}_5\text{Co}_{70}\text{Si}_{15}\text{B}_{10}$, $\text{Pd}_{81}\text{Cu}_7\text{Si}_{12}$, и другие) в нанокристаллическом состоянии (с размером зерна 6-40 нм) получены путем кристаллизации аморфных сплавов при 723-923 К в вакууме. Время отжига от 10 с до 1ч. Фазовый состав и микроструктура сплавов изучены методами просвечивающей электронной микроскопии высокого разрешения.

Предел прочности сплавов определялся по результатам испытания на растяжение ленточных образцов со скоростью 10^{-3} - $1,6 \times 10^{-5}$ с⁻¹ при 293-723 К Быстрая кристаллизация металлического стекла при повышенной температуре, при быстром нагреве и охлаждении приводит к значительному увеличению прочности для сплава $\text{Fe}_5\text{Co}_{70}\text{Si}_{15}\text{B}_{10}$ при 300К,