

## МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ОБРАЗЦОВ ИЗ ЛОПАТКИ ВТОРОЙ СТУПЕНИ ТУРБИНЫ ГТК-10 ПОСЛЕ ТЕРМОПЛАСТИЧЕСКОГО УПРОЧНЕНИЯ

Карпов А.В.

Самарский государственный технический университет

### METALLOGRAPHIC INVESTIGATIONS SURFACE SAMPLES FROM SHOULDER THE SECOND STAGE TURBINE GTC -10 AFTER THERMOPLASTIC REINFORCEMENT

*Karpov A.V. Investigation of the microstructure of the samples allows to identify factors that explain the observed increase in endurance and durability of blades after achievements.*

Для упрочнения деталей, например, таких как лопатки второй ступени турбины газоперекачивающего агрегата ГТК-10, была разработана новая конструкция установки для термопластического упрочнения (ТПУ) [1].

Режим упрочнения лопаток определялся исходя из опыта предыдущих работ [2, 3], с учетом конструктивных требований спроектированной установки для ТПУ, формы и размеров упрочняемых деталей, а так же эмпирически. Таким образом, для лопаток второй ступени турбины газоперекачивающего агрегата ГТК-10 изготовленных из сплава ЭИ893 при ТПУ оптимальная температура нагрева составляет 700 – 750 °С, а давление охлаждающей жидкости, в вихревой поток которой падает лопатка 1 – 1,5 МПа.

Металлографические исследования образцов проводились на электронном микроскопе JEOL JSM-6510 со встроенным энергодисперсионным рентгеновским спектрометром JED – 2300.

Перед проверкой на микроскопе исследуемая поверхность образцов полировалась алмазной пастой АСМ 2/1 НВОМЛ (ГОСТ 25593-83), после чего протравливалась. В качестве травителя использовался следующий состав 106 мл ледяной уксусной кислоты; 382 мл  $\text{HNO}_3$ ; 100 мл  $\text{H}_2\text{O}$ , подбор травителя основывался из рекомендаций, приведенных в справочном издании [4] для исследования микроструктуры образцов из жаро-

прочных сплавов на основе никеля.

Изучение формы и строения усталостных изломов образцов после термопластического упрочнения и без него позволило установить, что характер излома имеет определенную закономерность. На образцах, не подвергнутых нагреву с последующим быстрым охлаждением, очаг разрушения расположен на поверхности, а зона усталостного разрушения чрезвычайно мала, излом можно отнести к хрупким. Усталостные изломы образцов, прошедших термопластическое упрочнение характеризуется более волокнистым строением, что свойственно для пластичного характера разрушения (рис. 1). Кроме того, в последнем случае заметно смещение очага разрушения под поверхность.

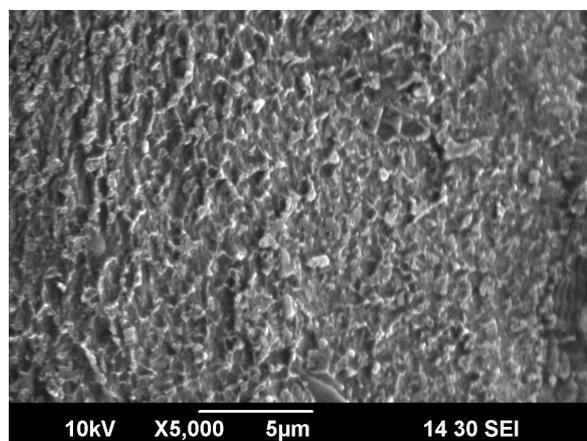


Рис. 1. Усталостные изломы образцов после ТПУ

При изучении макроизломов (рис. 1) можно заметить, что зона усталостного разрушения у образцов после термопластического упрочнения занимает значительно большую площадь, чем у образцов без термопластического упрочнения, что свойственно для более пластичных изломов. Это является свидетельством того, что образец после зарождения усталостной трещины работал еще довольно длительное время.

Повышение предела выносливости и его относительное возрастание с повышением базы испытаний, наблюдаемое на исследованных образцах из жаропрочных сплавов после термопластического упрочнения связано с определенным механизмом положительного воздействия сжимающих остаточных напряжений и их проявлением в процессе эксплуатации.

На рис. 2 показана микроструктура сплава ЭИ893 после термопластического упрочнения

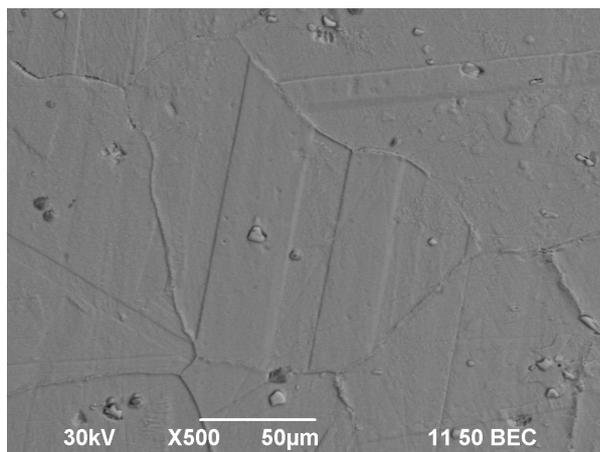


Рис. 2 Микроструктура поверхности образца из сплава ЭИ893 после термопластического упрочнения

При ТПУ в микроструктуре сплава ЭИ893 появляется обогащенная алюминием и титаном интерметаллидная  $\gamma'$ -фаза с когерентной связью с гранецентрированной кубической решеткой. Когерентная связь вызывает дробление блоков твердого раствора, при этом упрочненные образцы из сплава ЭИ893 имеют малую скорость разупрочне-

ния, которая связана с незначительной диффузионной подвижностью атомов алюминия и титана при высоких температурах вследствие высоких значений сил межатомных связей в решетке  $\gamma'$ -фазы.

Таким образом, при термоупрочнении проявляется благоприятное влияние двух факторов: сжимающих остаточных напряжений с одной стороны и появления в поверхностном слое структуры с наличием субграниц за счет динамики термоупрочнения - с другой. Причем, если остаточные напряжения выполняют свою роль, прежде всего на первом этапе циклического нагружения, когда вероятность появления микротрещин — наибольшая, то по мере релаксации этих напряжений все большее значение приобретает второй фактор, закрепляющийся деформационным старением. Этим обстоятельством можно объяснить наблюдаемое повышение выносливости послеработки, что приводит к значительному увеличению долговечности лопаток и повышению их ресурса.

#### Библиографический список

1. Пат. 101447 РФ, (51) МПК С21D 9/00 (2006.01). Установка для термопластического упрочнения деталей / А.В. Карпов, С.А. Папчихин. Заяв. № 2010126356; опубл.: 20.01.2011 Бюл. № 2.
2. Кравченко, Б.А. Термопластическое упрочнение – резерв повышения прочности и надежности деталей машин: монография / Б.А. Кравченко, В.Г. Круцило, Г.Н. Гутман. – Самара: Самарский ГТУ, 2000. – 216 с.
3. Пат. 2143011 РФ, (51) МПК<sup>6</sup> С22F1/10. Способ повышения циклической прочности деталей газотурбинных двигателей из жаропрочных сплавов на основе никеля / Кравченко Б.А. Заяв. № 96113810/02; опубл.: 20.12.1999.
4. Способы металлографического травления: Справ. изд.: Пер. с нем. Беккерт М., Клемм Х. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Металлургия, 1988. С. 400 с ил.