

ФОРМИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЯХ МИШЕНЕЙ ИЗ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ ПРИ ИХ ОБЛУЧЕНИИ СИЛЬНОТОЧНЫМИ ИМПУЛЬСНЫМИ ЭЛЕКТРОННЫМИ ПУЧКАМИ

В.А. Шулов¹⁾, А.Д. Теряев¹⁾, Д.А. Теряев¹⁾, Ю.А. Перлович²⁾, М.Г. Исаенкова²⁾, В.А. Фесенко²⁾

¹⁾Московский авиационный институт (государственный технический университет),
Волоколамское шоссе 4, 125993 Москва, Россия, shulovva@mail.ru

²⁾Московский инженерно-физический институт,
Каширское шоссе 31, 1115409 Москва, Россия, perlovich@mail.ru

Определены остаточные напряжения, формируемые в перекристаллизованном материале поверхностного слоя деталей из сплавов ВТ6, ВТ8 и ВТ9 при их облучении сильноточным импульсным электронным пучком (СИЭП) в режиме плавления. Облучение СИЭП при этом режиме приводит к формированию в поверхностном слое толщиной до 20 мкм остаточных сжимающих напряжений (ВТ6 и ВТ8) или остаточных растягивающих напряжений (ВТ9). Это должно привести к повышению (ВТ6 и ВТ8) или снижению (ВТ9) усталостной прочности при испытаниях на изгиб.

Введение

В [1] изучалось влияние режимов электронно-лучевой и финишной термической обработки на эксплуатационные свойства лопаток из $\alpha\beta$ -титановых сплавов ВТ6, ВТ8 и ВТ9. Было установлено, что, используя облучение СИЭП в ускорителе «Геза-1» [2] при энергии электронов 115-120 кэВ, плотности энергии 18-20 Дж/см² и числе импульсов более 2 удается повысить следующие характеристики лопаток: предел выносливости - от 10 до 40 %; эрозионную стойкость - более чем в 2 раза, жаростойкость - более чем в 3 раза; сопротивление горячей солевой коррозии - более чем в 4 раза [1]. Однако причины изменения свойств до сих пор до конца не ясны.

В этой связи целью настоящей работы являлось исследование остаточных напряжений, формируемых в перекристаллизованном материале поверхностного слоя деталей из этих сплавов при их облучении СИЭП в режиме плавления, поскольку именно остаточные напряжения во многом определяют прочностные характеристики изделий.

Материалы, оборудование и методики исследования

В качестве объектов исследования в настоящей работе использовались образцы диаметром 24 мм и толщиной 5 мм из сплавов ВТ6, ВТ8 и ВТ9 [3], изготовленные по серийной технологии производства лопаток компрессора ГТД РД33, применяемым на ММП имени В.В. Чернышева. Состояние материала в поверхностных слоях лопаток исследовалось методами: рентгеноструктурного анализа при послойном удалении материала поверхностного слоя с помощью тонкого ручного полирования и химического травления, просвечивающей электронной микроскопии и оптической металлографии. Обработка мишеней СИЭП [2] была реализована в ускорителе «Геза-ММП» в режиме плавления: энергия электронов - 120 кэВ; длительность импульса - 30 мкс; плотность энергии в пучке - 18-50 Дж/см²; площадь поперечного сечения пучка - 80 см²; неоднородность плотности по сечению пучка - менее 10 %. После облучения из мишеней механиче-

ским, электрохимическим и химическим методами приготавливались тонкие фольги для определения микроструктуры в объемных слоях и в перекристаллизованном слое на различных глубинах с помощью ПЭМ [4].

Экспериментальные данные и их обсуждение

Некоторые результаты исследования представлены на рис. 1-3.

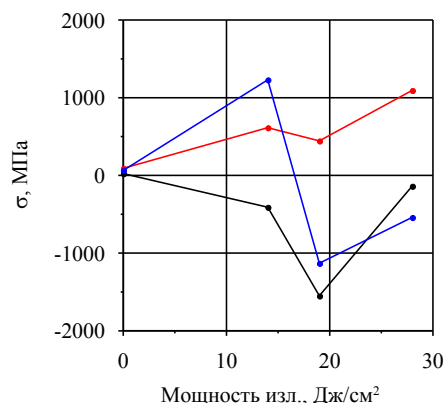


Рис. 1. Остаточные напряжения, сформированные на поверхности мишеней из сплавов ВТ6 (черный), ВТ8 (синий) и ВТ9 (красный) после облучения с разными плотностями энергии

С последними данными хорошо коррелируют результаты измерения микротвердости на поверхности мишеней после облучения (рис. 2). Из этих данных непосредственно следует, что облучение мишеней из сплавов ВТ8 и ВТ6 с плотностями энергии меньше 20 Дж/см² приводит к формированию остаточных сжимающих напряжений и увеличению микротвердости, а значит к упрочнению материала в поверхностном слое.

В тоже время для сплава ВТ9 наблюдается формирование остаточных растягивающих напряжений при облучении с любыми плотностями энергии. Такие мишени необходимо отжигать в вакууме для их снятия. На рис. 3 приведены микроструктуры, формируемые на глубине

10 мкм при толщине перекристаллизованной зоны 15 мкм для мишеней из сплавов ВТ6 и ВТ9.

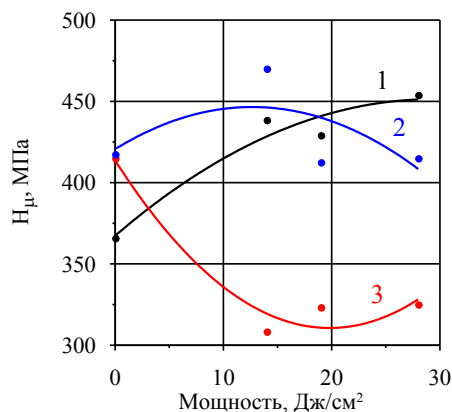


Рис. 2. Микротвердость на поверхности мишеней из титановых сплавов после облучения с различной плотностью энергии (1- ВТ6, 2 – ВТ8 и 3 – ВТ9)

Видно, что в сплаве ВТ6 при перекристаллизации протекает процесс формирования глобулярно-пластинчатой структуры, а в сплаве ВТ9 – игольчатой. Учитывая результаты работы [3] можно сделать вывод о хорошей корреляции этих данных с результатами определения остаточных напряжений.

Заключение

Методами рентгеноструктурного анализа, оптической металлографии и просвечивающей электронной микроскопии показано, что облучение СИЭП в режиме плавления приводит к формированию в поверхностном слое толщиной до 20 мкм остаточных сжимающих (ВТ8 и ВТ6) или растягивающих (ВТ9) напряжений. Все это объясняет результаты усталостных испытаний. Работа поддержана Минобрнауки РФ.

Список литературы

1. Шулов В.А., Новиков А.С., Энгелько В.И. Сильноточные электронные импульсные пучки для авиационного двигателестроения. М.: Изд-во Артек, 2012. 292 с.

2. Engelko V, Yatsenko B., Mueller G., Bluhm H. // J. Vacuum. 2001. V. 62. P. 211-214.
3. Шулов В.А., Пайкин А.Г., Быценко О.А. и др. // Физика и химия обработки материалов. 2012. №3. С. 18-25.
4. Perlovich Yu.A., Isaenkova M.G., Fesenko V.A. Materials Processing and Texture. Ceramic Transactions. V. 200. 2008. P. 539-546.

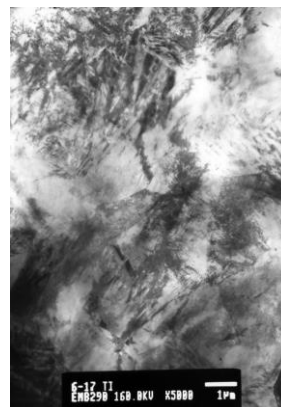
CREATION OF RESIDUAL STRESSES INTO SURFACE LAYERS OF TARGETS FROM TITANIUM ALLOY DURING THEIR IRRADIATION WITH INTENSE PULSED ELECTRON BEAMS

V.A. Shulov¹⁾, D.A. Teryaev¹⁾, A.D. Teryaev¹⁾, Yu.A. Perlovich²⁾, M.G. Isaenkova²⁾, V.A. Fesenko²⁾

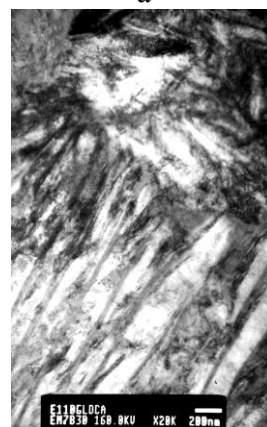
¹⁾Moscow Aviation Institute, 4 Volokolamskoye shosse, 125993 Moscow, Russia, shulovva@mail.ru

²⁾Moscow Engineering Physics Institute, 31 Kashirskoye shosse, 115409 Moscow, Russia, perlovich@mail.ru

The present paper reviews the X-ray experimental results dedicated to the residual stresses formation into surface layer of gas turbine engine blades from VT6, VT8, VT9 refractory $\alpha+\beta$ -titanium alloys as a result of irradiation with intense pulsed electron beams.



а



б

Рис. 3. Микроструктура образцов из сплавов ВТ9(а) и ВТ6 (б) после облучения при плотности энергии 18-20 Дж/см² после удаления поверхностных слоев толщиной 6 мкм