

ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ОБЛУЧЕНИЯ СИЛЬНОТОЧНЫМИ ИМПУЛЬСНЫМИ ЭЛЕКТРОННЫМИ ПУЧКАМИ И УПРОЧНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫМ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ НА УСТАЛОСТНУЮ ПРОЧНОСТЬ МИШЕНЕЙ ИЗ ТИТАНОВОГО СПЛАВА BT18U

В.А. Шулов¹⁾, А.Д. Теряев²⁾, Д.А. Теряев¹⁾, Г.Г. Ширваньянц¹⁾

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

²⁾ММП имени В.В. Чернышева, Вишневая ул. 7, 123362 Москва, Россия, teryaev_a@avia500.ru

Исследовано влияние комплексной обработки сильноточным импульсным электронным пучком и ультразвукового упрочнения на структуру, остаточные напряжения, шероховатость и усталостную прочность модельных образцов из сплава BT18U. Показано, что применение разрабатываемой комбинированной технологии модифицирования СИЭП с последующим ультразвуковым упрочнением приводит к повышению предела выносливости образцов-имитаторов лопаток не менее чем на 10 %.

Введение

Целью работы являлось экспериментальное доказательство целесообразности проведения комплексной обработки острых кромок, корыта и спинки лопаток компрессора высокого давления, включающей в себя облучение кромок сильноточными импульсными электронными пучками (СИЭП) и ультразвуковое упрочнение (УЗУ) корыта и спинки.

Облучение кромок сильноточным импульсным пучком электронов и упрочнение спинки и корыта ультразвуковой обработкой может привести к повышению предела выносливости.

Материалы, оборудование и методики исследования

В качестве объектов исследования в настоящей работе использовались образцы из сплава BT18U [1], изготовленные по серийной технологии производства лопаток компрессора ГТД (рис. 1). Состояние материала в поверхностных слоях лопаток исследовалось методами: рентгеноструктурного анализа, просвечивающей электронной микроскопии и оптической металлографии. Обработка мишеней СИЭП [2] была реализована в ускорителе «Геза-ММП» (рис. 2) в режиме плавления: энергия электронов - 120 кэВ; длительность импульса - 30 мкс; плотность энергии в пучке - 18-20 Дж/см²; площадь поперечного сечения пучка - 80 см²; неоднородность плотности по сечению пучка - менее 10 %).

Экспериментальные данные и их обсуждение

В рассматриваемом случае поверхностной модификации пучком электронов кристаллизация расплавленного слоя будет протекать в поверхностном слое толщиной 20-30 мкм (рис. 3). Некоторые результаты исследования представлены на рис. 4 и 5, а также в таблице 1.

Из этих данных следует, что комплексная обработка приводит к небольшому снижению шероховатости и формированию остаточных сжимающих напряжений, что обеспечивает повышение предела выносливости (таблица 1).



Рис. 1. Внешний вид усталостных образцов с острыми кромками из сплава BT18U



Рис. 2. Внешний вид установки Геза-ММП для облучения СИЭП

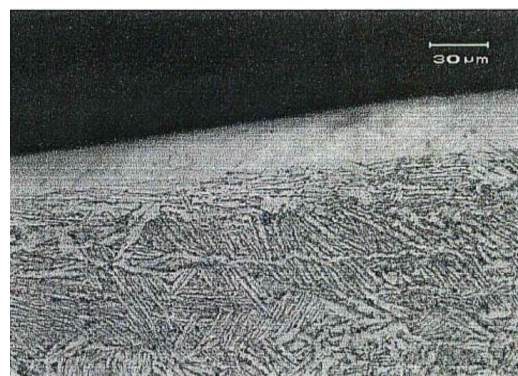


Рис. 3. Микроструктура в поверхностном слое острых кромок образцов после облучения СИЭП

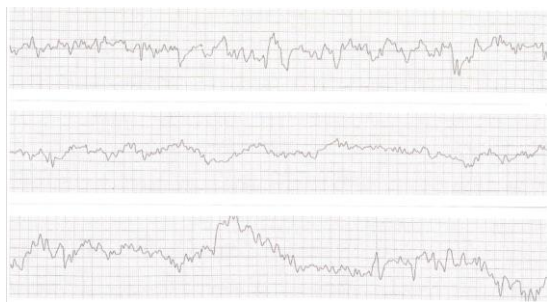


Рис. 4. Профилограммы шероховатости поверхности: а – исходная полированная $R_a = 0.14$ мкм., $R_z = 1.15$ мкм; б – после обработки СИЭП ($W=20$ Дж/см², 4 имп., $\tau=40$ мкс.) $R_a = 0.11$ мкм., $R_z = 0.82$ мкм; в – после комбинированной обработки: СИЭП с последующим ультразвуковым упрочнением $R_a = 0.3$ мкм., $R_z = 2.55$ мкм.

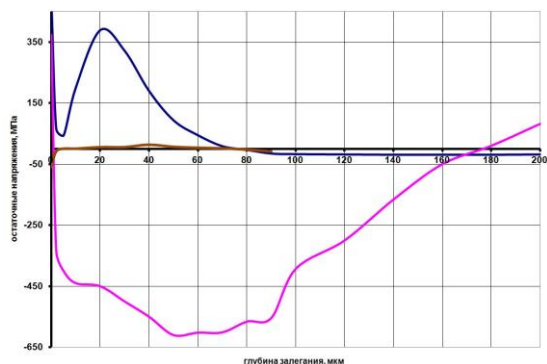


Рис. 5. Усредненные эпюры остаточных напряжений после: 1 – полирования и вакуумного отжига; 2 – обработки СИЭП; 3 – ультразвукового упрочнения

Из этих данных следует, что комплексная обработка приводит к небольшому снижению шероховатости и формированию остаточных сжимающих напряжений, что обеспечивает повышение предела выносливости (Таблица 1).

Таблица 1. Результаты усталостных испытаний

Номер образца	Обработка, нагрузка, МПа	Число циклов до разрушения
1	Исходный, 340	$1.4 \cdot 10^5$
2	Исходный, 320	$4.7 \cdot 10^6$
3	Исходный, 300	$>2 \cdot 10^7$
4	Исходный, 320	$>1.3 \cdot 10^7$
5	Исходный, 300	$>2 \cdot 10^7$
6	СИЭП, 300	$2.3 \cdot 10^6$
7	СИЭП, 280	$1.7 \cdot 10^5$
8	СИЭП, 280	$4,15 \cdot 10^6$
9	СИЭП, 260	$>2 \cdot 10^7$
10	СИЭП, 260	$1.72 \cdot 10^7$
11	СИЭП, УЗУ, 300	$1.96 \cdot 10^7$
12	СИЭП, УЗУ, 300	$>2 \cdot 10^7$
13	СИЭП, УЗУ, 320	$6.03 \cdot 10^6$
14	СИЭП, УЗУ, 320	$>2 \cdot 10^7$
15	СИЭП, УЗУ, 340	$>2 \cdot 10^7$

Заключение

Усталостные испытания образцов-имитаторов пера лопатки показали, что обработка с применением разрабатываемой комбинированной технологии модифицирования СИЭП с последующим ультразвуковым упрочнением приводит к повышению предела выносливости образцов-имитаторов пера лопаток не менее чем на 10 %.

Список литературы

1. Шуллов 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.

EFFECT OF COMPLEX IRRADIATION WITH INTENSE PULSED ELECTRON BEAMS AND STRENGTHENING BY SURFACE PLASTIC DEFORMATION ON FATIGUE STRENGTH OF VT18U TITANIUM ALLOY

V.A. Shulov¹, D.A. Teryaev¹, A.D. Teryaev², G.G. Shirvan'yantz

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

²Chernyshev Machine Building Enterprise, 7 Vishnevaya Street, 123362 Moscow, Russia, teryaev_a@avia500.ru

The present paper reviews the fatigue experimental results after complex irradiation with intense pulsed electron beams and strengthening by surface plastic deformation.