

10

© 1991

ПРИМЕНЕНИЕ ОБРАБОТКИ МОЩНЫМИ ИОННЫМИ ПУЧКАМИ ДЛЯ РЕМОНТА И ОЧИСТКИ ИЗДЕЛИЙ

В.А. Ш у л о в, Г.Е. Р е м н е в,
Н.А. Н о ч е в н а я, И.Ф. И с а к о в,
И.Г. П о л я к о в а, Н.И. Ш а б а н о в

В последние годы мощные ионные пучки (МИП) с плотностью мощности на мишени (10^7-10^9 Вт/см²) находят все большее применение в различных областях прикладных исследований.

Такие характеристики МИП как, сравнительно большое поперечное сечение пучков (10^1-10^3 см²), короткая длительность воздействия ($10^{-8}-10^{-6}$ с), малая глубина (~ 1 мкм) и высокий коэффициент поглощения энергии твердым телом наряду со сравнительно высоким коэффициентом полезного действия соответствующих ускорителей ($\sim 20-40\%$) открывают большие возможности их практического использования. Сюда можно отнести прямое упрочнение изделий и режущего инструмента [1], легирование и отжиг полупроводников [2], упрочнение жаропрочных сплавов [3], получение тонких металлических ВТСП, люминесцентных (ZnS) пленок [4, 5].

В данной статье сообщается об экспериментальных результатах по использованию МИП для целей очистки изделий, бывших в эксплуатации, от нагара, оксидных слоев. Исследования проведены на лопатках газотурбинного двигателя. Облучение проводилось на технологическом ускорителе „Темп“ ($e \cdot U = 300$ кэВ, $j_i = 40-160$ А/см², $t_u = 60$ нс). Режимы варьировались только изменением плотности тока на мишени и числом импульсов $n \geq 3$. Однородность МИП по сечению определялась коллимированным цилиндром Фарадея. После обработки МИП лопатки отжигались в вакууме 10^{-5} мм рт. ст. при температурах их эксплуатации.

Лопатки, прошедшие наработку на двигателе, обработку МИП и термообработку, испытывались на усталостную прочность, сопротивление пылевой эрозии и сопротивление горячей солевой коррозии. Некоторые результаты исследования физико-химического состояния поверхности серийных и обработанных МИП лопаток приведены на рис. 1-2 и в таблице.

Из них следует:

1. В процессе эксплуатации происходит окисление приповерхностных слоев сплавов с формированием оксидов титана (BT18Y и BT9), железа и хрома (ЭП866Ш и ЭП718ИД), а также шпинелей, причем глубины проникновения кислорода в матричные слои достигают 40-80 мкм.

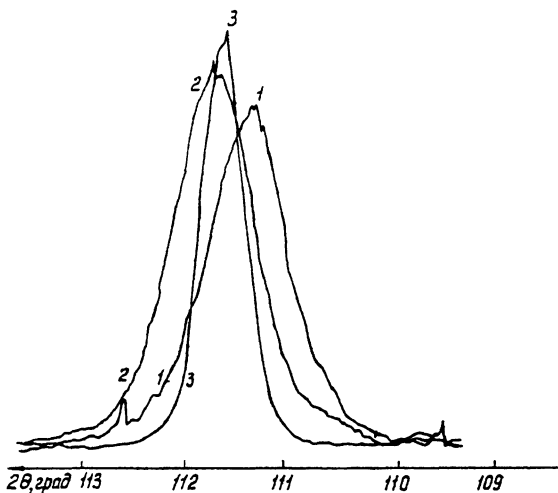


Рис. 1. Фрагменты дифрактограмм лопаток из стали ЭП866Ш: 1 - серийные, 2 - облучение МИП Э ($j=120 \text{ А/см}^2$, $n=5$ имп), 3 - облучение МИП ($j=120 \text{ А/см}^2$, $n=5$ имп) и диффузионный вакуумный отжиг ($600 \text{ }^\circ\text{C}$, 2 ч).

2. Обработкой ионным пучком при $j_i=80-160 \text{ А/см}^2$ и $n=1$ имп удаётся удалить оксидные слои толщиной 0,1 (титановые сплавы) и ≤ 40 мкм (ЭП866Ш) и (ЭП718ИД) и сформировать мелкодисперсные выделения карбидов (или оксикарбидов) на глубине до 0,2 мкм.

3. Финишная термообработка позволяет „идеализировать“ кристаллическую решетку в слое толщиной 5 мкм (резко сужаются дифракционные линии и уменьшается межплоскостное расстояние), зафиксировать высокую однородность распределения α -пластин в пределах каждой α -колонии (ВТ18У), сформировать равноосные зерна размером 40 мкм с четко очерченными границами вплоть до их выхода непосредственно на поверхность.

4. При высоких плотностях ионного тока ($j_i > 80 \text{ А/см}^2$) на поверхности лопаток проявляются кратеры травления, размеры, форма и количество которых определяются значениями плотности тока и числа импульсов, а также материалом мишени, причем возможно получение совокупности кратеров с дальним порядком.

5. Существуют режимы, когда при облучении кратеры не образуются, а идет избирательное травление фазовых составляющих сплава с формированием четко проявляющейся на поверхности структуры материала.

6. С увеличением j_i от 40 до $80-100 \text{ А/см}^2$ монотонно возрастает шероховатость и уменьшается микротвердость.

7. Облучение с $j_i=100-160 \text{ А/см}^2$ позволяет снизить шероховатость поверхности с 0,25-0,20 мкм до 0,10-0,06 мкм и увели-

Физико-химическое состояние поверхности лопаток из сплавов ВТ18У и ЭП718ИД после наработки 1000 и 660 ч соответственно

Сплав	Обработка	h_0 , мкм	$\Gamma_{1/2} (hkl)$, град, $\pm 0,04$	НМ, ед. НУ	R_a , мкм	Фазовый состав
ВТ18У	Наработка	70 ± 5	1.15(112)	700-800	0.19	$TiO_2 - \alpha - Ti - O$
ВТ18У	МИП ($j=40$, А/см ²)	65 ± 5	1.12(112)	680-750	0.20	$TiO_2 - \alpha - Ti - O$
ВТ18У	МИП ($j=80$, А/см ²)	65 ± 5	1.19(112)	600-650	0.24	$TiO_2 - \alpha - Ti - O$
ВТ18У	МИП ($j=120$, А/см ²)	60 ± 5	1.24(112)	300-340	0.12	$\alpha - Ti - O$
ВТ18У	МИП ($j=120$, А/см ² , отжиг (550 °С, 2ч)	60 ± 5	0.84(112)	420-480	0.11	$\alpha - Ti - O$ Карбиды, оксикар- биды
ЭП718ИД	Наработка	65 ± 5	1.23(111)	-	0.31	$Fe_3O_4Cr_2O_3$ $FeCrO_4$
ЭП718ИД	МИП (100 А/см ²)	5 ± 5	1.27(111)	360-400	0.10	γ -фаза
ЭП718ИД	МИП (100 А/см ²) отжиг (650 °С, 2 ч)	5 ± 5	0.86(111)	430-500	0.09	γ -фаза карбиды, оксикарбиды

h_0 - толщина окисленного слоя, $\Gamma_{1/2} (hkl)$ - полуширина рентгеновской линии (hkl), НМ - микровер-
дость, R_a - шероховатость.

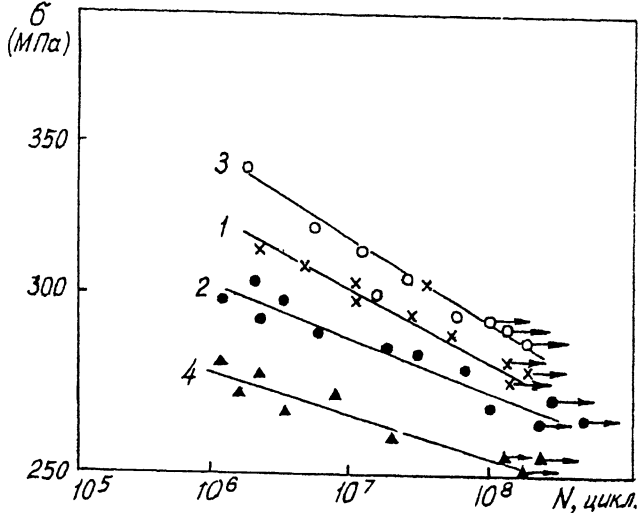


Рис. 2. Усталостные кривые для лопаток из сплава ЭП718ИД ($\sigma = 3300$, $T = 650$ °С): 1 – серийные лопатки, 2 – серийные лопатки после 660 час наработки на двигателе. 3 – лопатки после 600 ч наработки на двигателе, облучения МИП ($j = 120$ А/см²; $n \geq 3$ имп) и диффузионного отжига (650 °С, 2 ч), 4 – лопатки после 660 ч наработки на двигателе, облучения МИП ($j = 160$ А/см², $n \geq 3$ имп) и диффузионного отжига (650 °С, 2 ч).

читать микротвердость от 300–400 ед. HV до 430–500 ед. HV (после диффузионного отжига).

Очевидно, что полученные в результате обработки МИП изменения в физико-химическом состоянии поверхностного слоя должны сказаться на эксплуатационных свойствах деталей. Это подтверждается результатами испытаний на усталостную прочность, сопротивление эрозии и солевой коррозии. Видно, что с помощью ионно-лучевой обработки МИП прошедших наработку лопаток из сплавов ВТ9, ВТ18У, ЭП718ИД и ЭП866Ш удается повысить указанные служебные характеристики, по крайней мере, до уровня исходных серийных деталей. Тем самым МИП позволяет осуществить не просто удаление окисленных при наработке поверхностных слоев лопаток, а добиваться, наряду с этим, существенного улучшения эксплуатационных свойств изделий, рис. 2.

В то же время следует подчеркнуть, что обработка с применением МИП может привести и к ухудшению свойств изделий. Причинами этого являются: процессы кратерообразования, окисление приповерхностных слоев во время диффузионного отжига (особенно титановых сплавов при относительно низком вакууме), ошибочный выбор режимов облучения данного конкретного материала (прежде всего плотности тока и числа импульсов).

С помощью МИП могут быть удалены „отработанные“ защитные покрытия как на лопатках компрессора и турбины с последующим нанесением новых покрытий, так и на других изделиях. Принципиальная возможность этого показана в данной статье. Высокая производительность установки ($\sim 1 \text{ м}^2/\text{ч}$), экологическая чистота метода, малые удельные энергозатраты, могут служить основой практического использования метода.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Л и г а ч е в А.Е., П о г р е б н я к А.Д., Р е м - н е в Г.Е., Ч и с т я к о в С.А. // Изв. вузов.Физика. 1987. С. 52-64.
- [2] N e r i J.M., H a m m e r D.A., G i n e t G., S u d a n R.W. // Appl. Phys. Lett. 1980.v. 37. N 1. P. 101-103.
- [3] П о г р е б н я к А.Д., Р е м н е в Г.Е., Ш у л о в В.А. и др. // Поверхность. 1990. № 12.
- [4] Y a t s u i K. // Laser and Particle Beams. 1989. V. 7. part 4. P. 733-741.
- [5] G o n c h a r o v O.I., I s a k o v I.F., K o l o d i i V.N. et al. Proceedings BEAMS'90.

Научно-исследовательский
институт ядерной физики
при Томском
политехническом
институте

Поступило в Редакцию
21 апреля 1991 г.