

Влияние вакуумно-плазменного покрытия с низкой адгезионной активностью на разрушение поверхностей контактирующих образцов в условиях фреттинг-коррозии

*Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины,
Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»*

Исследовано влияние вакуумно-плазменного покрытия $\{Cr+(TiCr)N\}$ с низкой адгезионной активностью на разрушение поверхностей контактирующих образцов – плоских пластин из алюминиевого сплава Д16АТ и стальных шайб с указанным выше покрытием при совместном действии циклических растягивающих нагрузжений и фреттинг-коррозии. Установлено, что повышение усталостной долговечности пластин при использовании покрытия обеспечивается уменьшением интенсивности изнашивания поверхностей контакта на пластинах в начальной стадии процесса путем снижения схватывания неровностей контртел и уменьшения фреттинг-усталостных повреждений.

Ключевые слова: усталостная долговечность, фреттинг-коррозия, вакуумно-плазменное покрытие, адгезионная активность, схватывание, пластина, шайба.

Известно [1], что большинство всех разрушений планера самолета происходит в местах болтовых соединений его элементов и связано с интенсивной фреттинг-коррозией между контактирующими деталями соединений в процессе эксплуатации самолета. В некоторой степени удастся снизить интенсивность фреттинг-коррозии путем применения в болтовых соединениях осевого и радиального натягов, а также кадмированных шайб, контактирующих в болтовом соединении с материалом соединяемых элементов планера [1-7].

В работе [8] показано, что если в качестве защитного покрытия на шайбах использовать не кадмиевое покрытие, а многослойное вакуумно-плазменное покрытие $\{Cr+(TiCr)N\}$ с низкой адгезионной активностью по отношению к материалу планера, то интенсивность фреттинг-коррозии существенно снижается, в результате чего усталостная долговечность конструктивных элементов планера (полос из листового алюминиевого сплава Д16АТ) повышается в 1,5 раза.

Целью настоящей работы является исследование влияния указанного покрытия на процесс разрушения контактирующих поверхностей в условиях фреттинга.

Методика испытаний конструктивных элементов (полос из сплава Д16АТ) на усталость в условиях фреттинга описана в работе [8]. Здесь приведена лишь модель образца без отверстия с приспособлением для прижатия шайб к образцу с двух его сторон (рис. 1). Прижатие шайб через прижимные головки к образцу с заданными контактными напряжениями обеспечивалось затягиванием болтов шкальным ключом КМШ-140 (момент затяжки – 25 Н·м).

Для изучения поверхностей контакта образцов-пластин с шайбами в работе использована оптическая микроскопия (МБС-9), сканирующая электронная микроскопия (JSM-840 и ZEISS EVO 40XVP с системой рентгеновского микроанализа INCA Energy). Микроскопические исследования проводили на образцах-пластинах (2.3.0, 2.6.1, 1.5.1), а также на шайбах с кадмиевым покрытием (1.1.0, 1.5.1, 1.7.2) и вакуумно-плазменным покрытием (2.3.0, 2.6.1, 6.6.1).

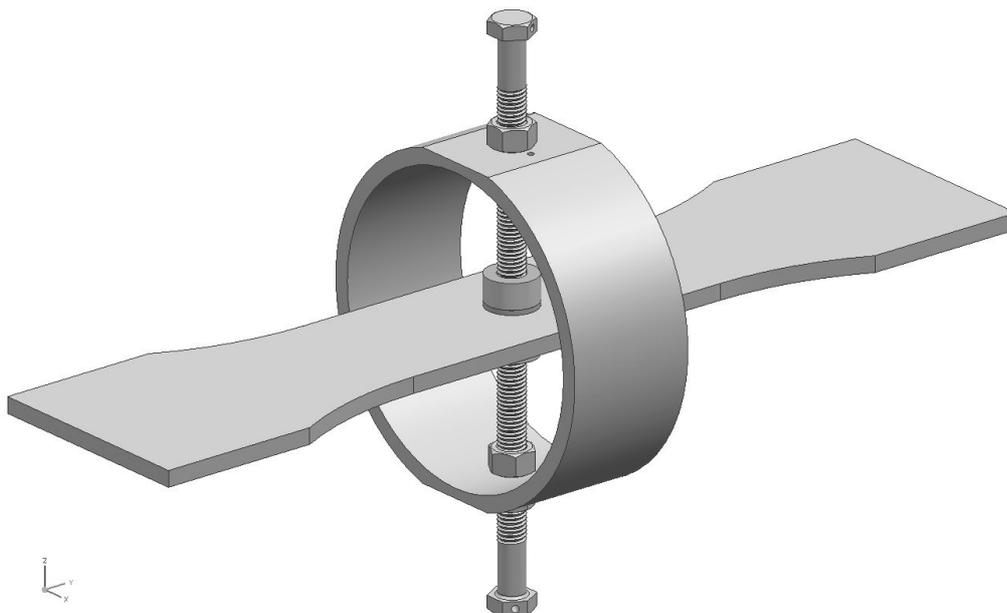


Рис. 1. Трехмерная модель образца с приспособлением для проведения усталостных испытаний

Опишем характерные элементы внешнего вида образцов после разрушения пластин при их циклическом нагружении.

На рис. 2 показаны две совмещенные части образца-пластины, разрушенной под влиянием циклического нагружения образца растяжением (отнулевое нагружение) вдоль его оси.

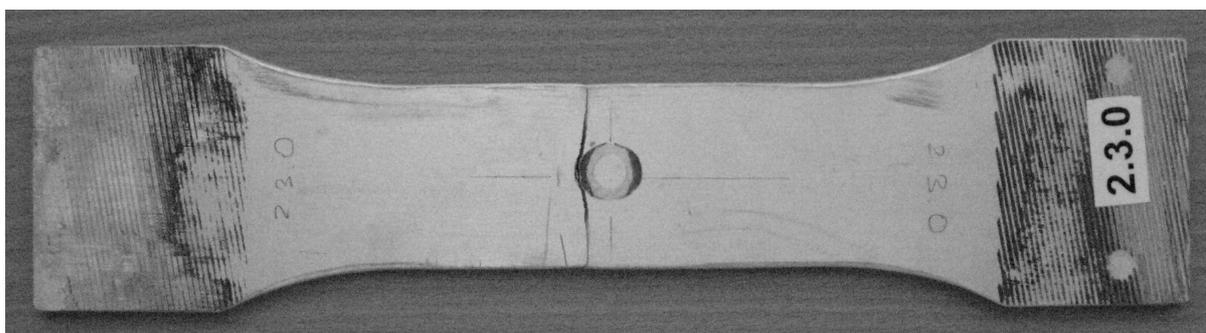


Рис. 2. Две совмещенные части образца-пластины после усталостного разрушения в условиях фреттинг-коррозии

Видно, что поверхность разрушения образца проходит приблизительно перпендикулярно продольной оси, причем, как правило, «затрагивает» участок фреттинг-изнашивания, возникающий в результате прижатия к поверхности образца двух соосно расположенных шайб. На рис. 3 показан вид поверхности излома пластины, свидетельствующий о том, что разрушение инициируется интенсивным фреттинг-изнашиванием. Часть поверхности образца-пластины, которая подверглась интенсивному фреттинг-изнашиванию, имеет более темный цвет.

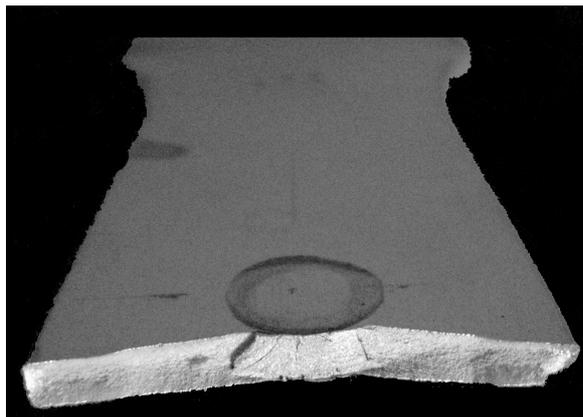


Рис. 3. Объемное изображение одной из частей образца-пластины после усталостного разрушения в условиях фреттинг-коррозии (образец 2.6.1)

На рис. 4 изображен характерный отпечаток, образовавшийся на поверхности образца-пластины в результате фреттинга. На этом отпечатке видны два круглых контура, которые окружают поверхность контакта контртел. Вдоль этих контуров размещены гребни (или валики), свидетельствующие о вдавливании шайбы в материал образца-пластины, которое вызывает вытеснение материала образца за пределы площадки контакта. Следует отметить, что это вытеснение наблюдается только при фреттинге: при его отсутствии вытеснения материала практически нет. Образовавшиеся валики имеют вдоль своей длины разную высоту. Высота максимальна в участках, прилегающих к продольной оси образца-пластины, и минимальна в участках, прилегающих к перпендикуляру, проведенному к продольной оси образца через центр отпечатка.

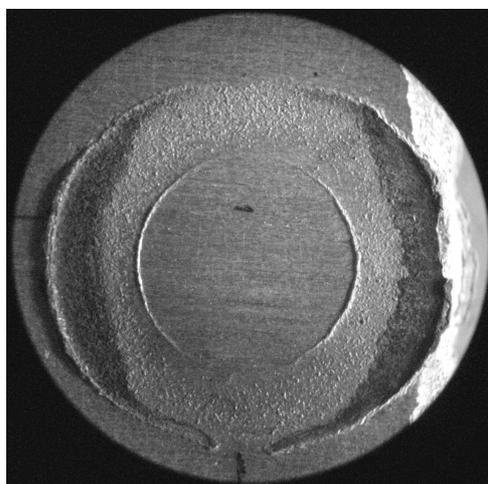


Рис. 4. Характерный отпечаток, образовавшийся на поверхности образца-пластины в результате фреттинга ($\times 3$, образец 2.3.0)

На рис. 4 видно также, что поверхность разрушения образца (она перпендикулярна поверхности рисунка) заходит за зону интенсивного фреттинга, в результате чего над поверхностью разрушения нависает своеобразный козырек, состоящий из сильно разрыхленного и охрупченного в результате интенсивного фреттинг-изнашивания материала пластины (толщина этого козырька составляет

~ 0,3 мм). Здесь можно также выделить зону относительно слабого проявления фреттинг-изнашивания (более светлая часть отражения), где даже при малом увеличении просматриваются некоторые неоднородности. Аналогичный вид имеет и поверхность шайбы, которой она соприкасалась с образцом-пластиной при фреттинге (рис. 5).

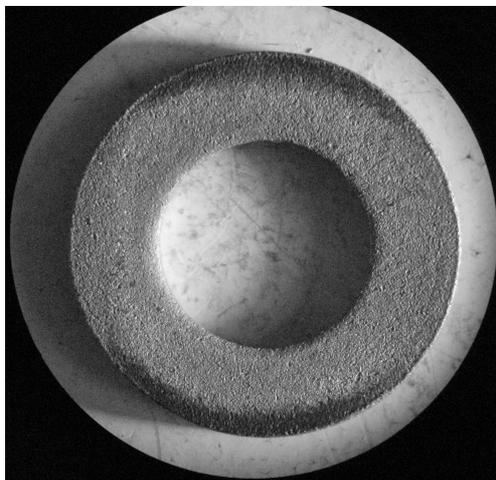


Рис. 5. Изображение поверхности шайбы после испытаний ($\times 3$; шайба 1.1.0)

Поскольку приведенное описание характерно практически для всех исследуемых образцов (т. е. при всех амплитудах и при разных покрытиях на шайбах), целесообразно для упрощения следующего описания представить схему отпечатка (рис. 6), где выделено несколько зон фреттинг-изнашивания: зону I и зону I' – две симметричных относительно центра отпечатка зоны интенсивного фреттинг-изнашивания, которые имеют черный цвет, и зону II – более светлую, где интенсивность фреттинг-изнашивания значительно меньше и где при малых увеличениях хорошо заметны неоднородности поверхности.

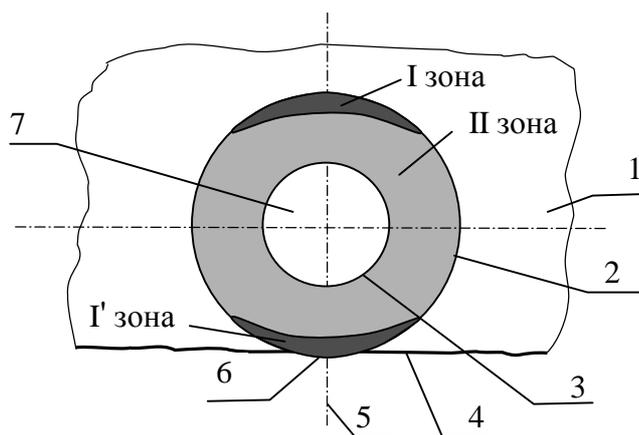


Рис. 6. Схема отпечатка на образце-пластине:

1 – часть образца с отпечатком; 2 – внешний контур отпечатка; 3 – внутренний контур отпечатка; 4 – след поверхности излома образца; 5 – продольная ось образца; 6 – козырек над поверхностью излома, 7 – поверхность образца-пластины, которая соответствует отверстию шайбы. I, I' II – зоны фреттинг-изнашивания

Эти неоднородности на пластинах лучше видны на рис. 7, а на шайбе – на рис. 8.

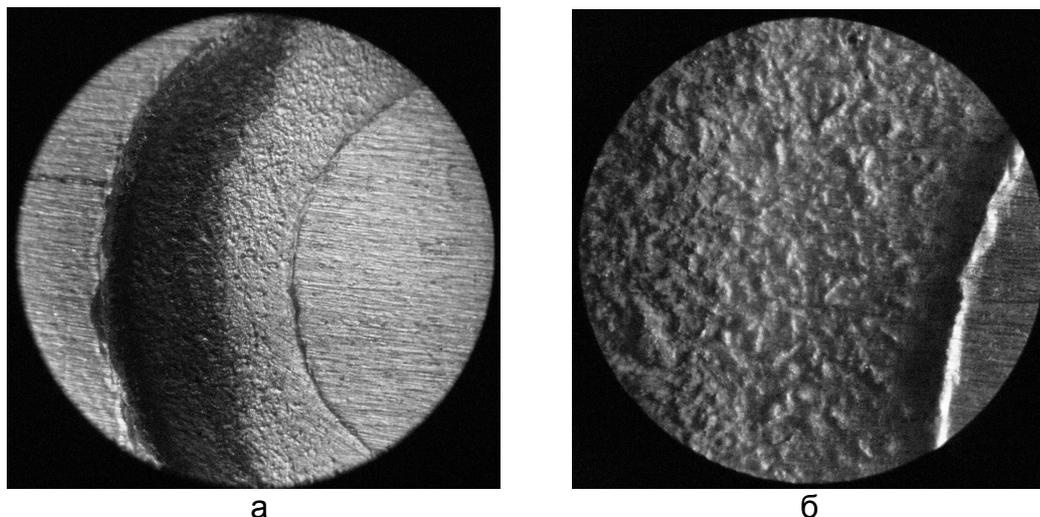


Рис. 7. Неоднородности на поверхности образца-пластины 2.3.0:
а – $\times 6$, б – $\times 24$

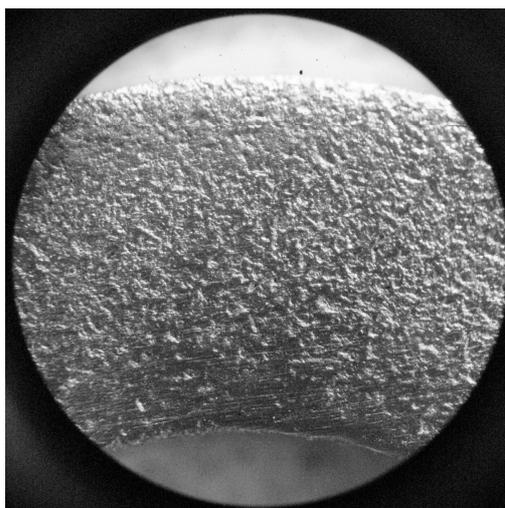


Рис. 8. Неоднородности на поверхности шайбы после испытаний
($\times 11$; шайба 2.3.0)

Обращает на себя внимание тот факт, что плотность неоднородностей в зоне II неодинакова и, очевидно, зависит от величины проскальзывания. Чем меньше проскальзывание, тем плотность неоднородностей меньше, а сами они крупнее (это хорошо видно на шайбе – рис. 9 и на пластине – рис. 10). Эти два последних изображения позволяют определить, что на поверхности контакта шайбы неоднородности являются углублениями, а на образце-пластине – выпуклостями (будем их в дальнейшем называть пупырышками). На рис. 10 видно также, что за зоной контакта (сразу же за большим валиком) наблюдаются следы пластического деформирования пластины (это волны пластической деформации, которые, однако, быстро затухают).



Рис. 9. Неоднородности на поверхности шайбы после испытаний
($\times 52$; шайба 1.7.2)

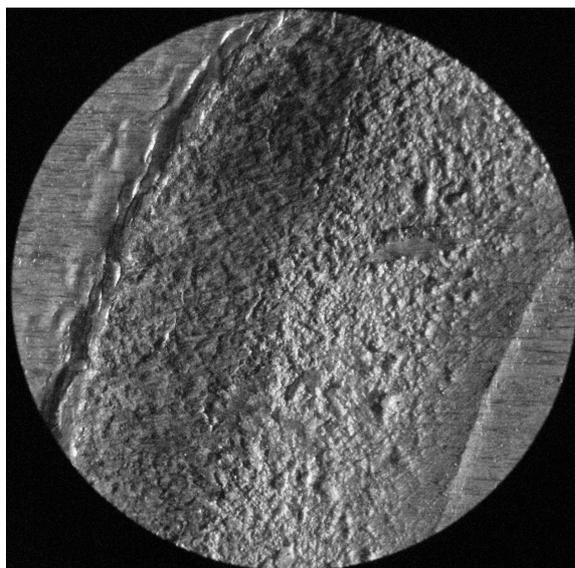


Рис. 10. Неоднородности на поверхности пластины после испытаний
($\times 12$; образец 2.6.1)

Для выяснения причин появления указанных неоднородностей и их отношения к фреттинг-износу была использована сканирующая электронная микроскопия и микронзондовый элементный рентгеноспектральный анализ поверхностей фреттинг-изнашивания.

Изображение поверхности пластины (рис. 11), находившейся в контакте с кадмированной шайбой, полученное при малом увеличении в сканирующем микроскопе, позволяет определить характер неоднородностей в зоне II. Эти неоднородности представляют собой выступы с поперечным размером от 10 до 50 мкм, вокруг которых образуются трещины, заметные при большем увеличении, – рис. 12.

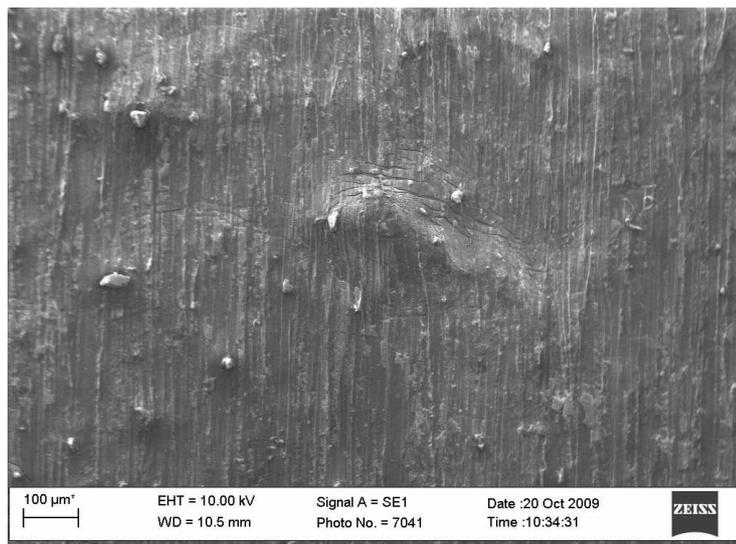


Рис. 11. Неоднородности в зоне II на поверхности образца-пластины 1.5.1

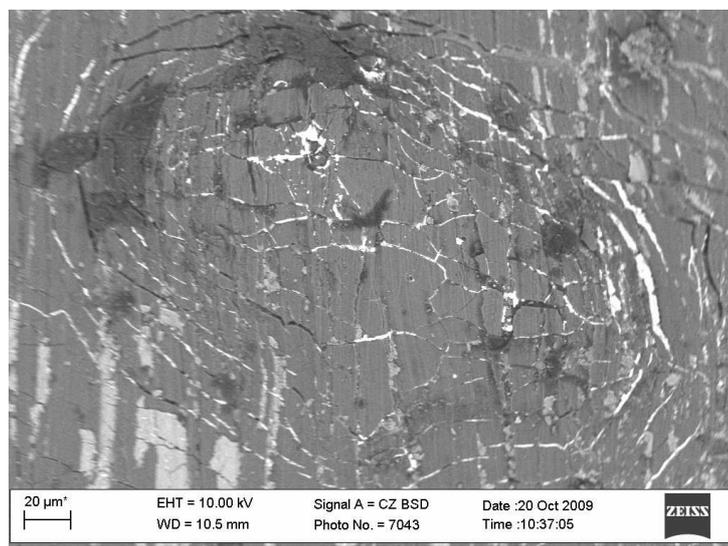


Рис. 12. Трещины возле неоднородностей в зоне II на поверхности образца-пластины 1.5.1

При еще большем увеличении обнаруживаются участки сильного растрескивания (рис. 13), при этом ширина трещины на поверхности достигает 1 ... 2 мкм, а размер диспергированных участков между трещинами ~ 10 мкм. Следует обратить внимание на то, что некоторые трещины имеют темный цвет, а некоторые – белый цвет (это видно на рис. 14). С помощью микроанализатора удалось установить, что белые трещины заполнены кадмием, перенесенным сюда, очевидно, с поверхности шайбы. В спектре, полученном от темной трещины, оказываются лишь алюминий и кислород. Наличие этих элементов и отсутствие других свидетельствуют о том, что трещина в этом случае отделяет один микроучасток оксидированной поверхности образца-пластины от другого такого же микроучастка.

Участки поверхности образцов-пластин, которые соответствуют зонам I и I', имеют черный цвет.

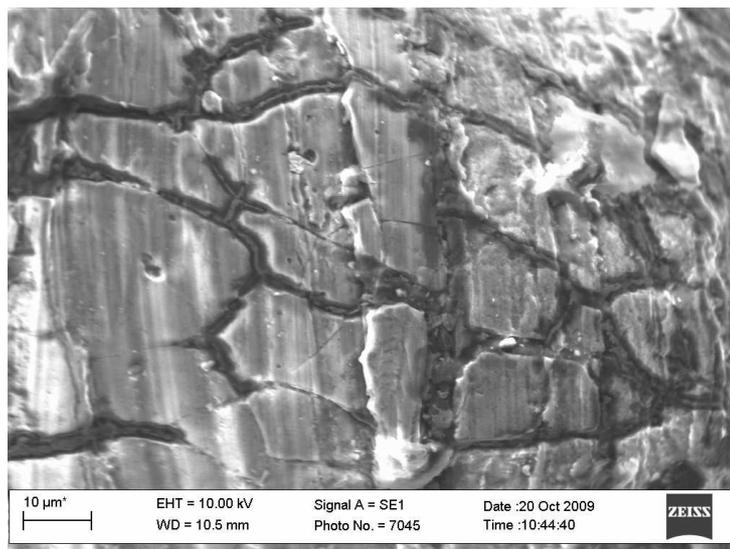


Рис. 13. Участок сильного растрескивания поверхности образца-пластины 1.5.1 в зоне II

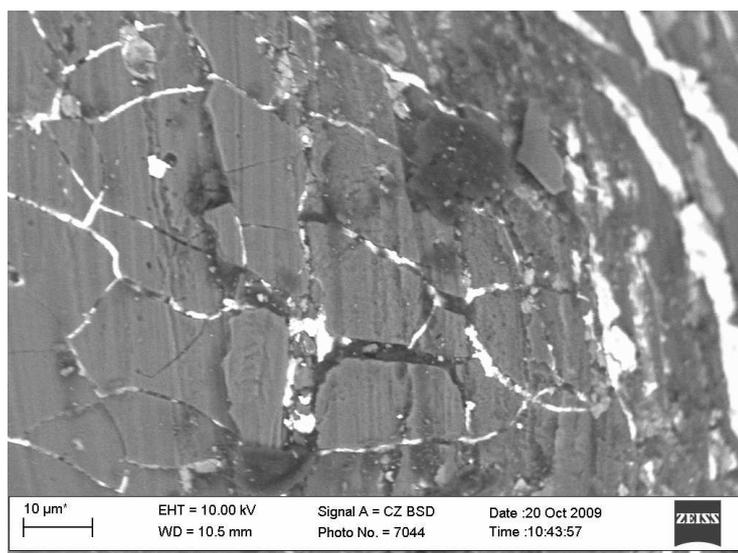


Рис. 14. Темные и белые трещины на поверхности образца-пластины 1.5.1 в зоне II

В целом поверхность пластины содержит главным образом алюминий, кислород и хром. Наличие хрома, вероятно, связано с процессом анодирования пластин дюралюминия, в котором используется хромовый ангидрид. Участки, которые содержат хром, иногда проявляются в виде более светлых областей, одновременно в них отмечается и повышенное содержание кислорода. Очевидно, эти светлые участки содержат оксиды хрома.

На поверхности шайбы с кадмиевым покрытием в зоне II сильных разрушений нет, хотя кое-где и наблюдается растрескивание покрытия. В зоне I видим язвы в покрытии (рис. 15), в отдельных местах заполненные продуктами изнашивания (рис. 16).

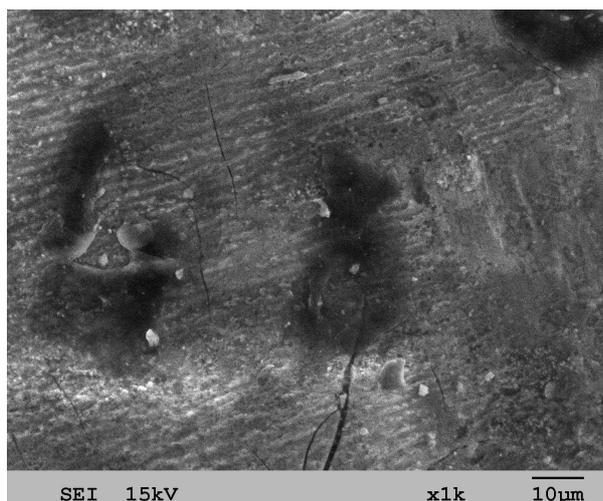
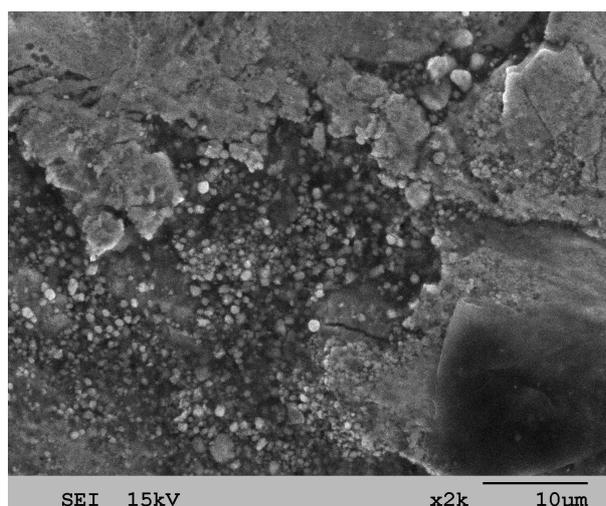


Рис. 15. Поверхность шайбы 1.5.1 в зоне I



а



б

Рис. 16. Продукты изнашивания в каверне на поверхности зоны I шайбы 1.5.1 в различных участках

В результате элементного анализа поверхности шайбы с кадмиевым покрытием после слабого фреттинг-изнашивания было обнаружено содержание главным образом, кадмия, кислорода, хрома *) и незначительного количества алюминия.

При сильном фреттинг-изнашивании пластин поверхности зон I и I' на шайбах черные, что свидетельствует о переносе элементов разрушения с образца-пластины при фреттинге на контртело. Легкое трение лезвием бритвы по этой поверхности под бинокулярным микроскопом МБС-9 приводит к снятию черного слоя в виде мелких черных порошинок и появлению блестящей поверхности, которая вместе с тем имеет следы деформации и разрушения. На соседних участках после снятия черного покрытия оголяется кадмиевое покрытие, которое легко срезается лезвием как в зоне I, так и в зоне II.

Рассмотрим отличия для случая контакта образцов-пластин с шайбами с вакуумно-плазменным покрытием.

Прежде всего, следует отметить, что на поверхности пластин в зоне II значительно меньше трещин, хотя неровности тоже встречаются (рис. 17, а). Трещины наблюдаются лишь в отдельных участках (рис. 17, б). Очень редко, но встречаются и каверны, заполненные продуктами изнашивания. Результаты микроспектрального анализа свидетельствуют о том, что на поверхности пластины в зоне II преобладают серые участки, для которых характерно высокое содержание алюминия и кислорода. Очевидно, это – исходная оксидированная поверхность образцов-пластин.

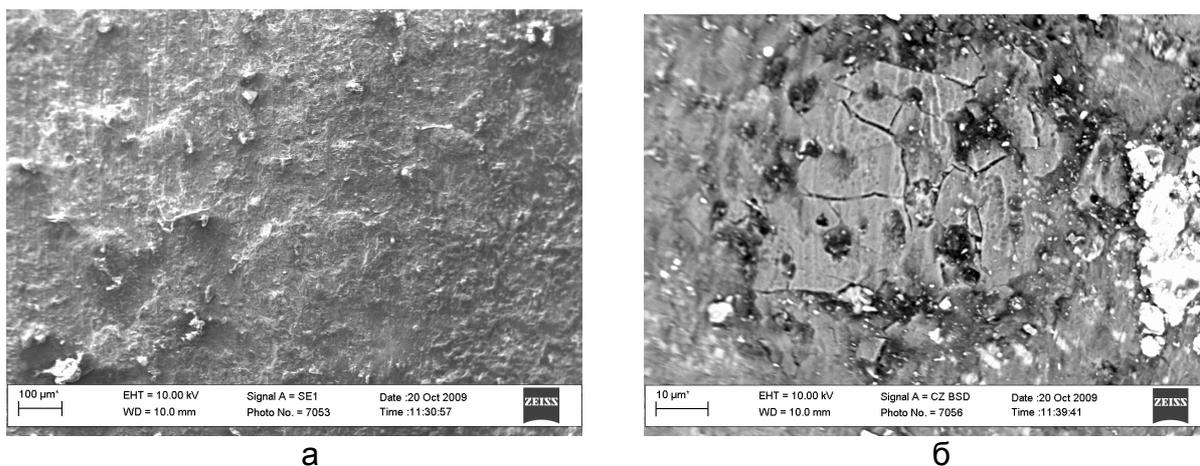


Рис 17. Поверхность зоны II образца-пластины 2.6.1:
а – неровности, б – участки с трещинами

Местами встречаются светлые участки, в которых преобладают титан и кислород. Этот факт позволяет предположить, что вакуумно-плазменное покрытие на шайбе в некоторых местах было частично разрушено, а его «осколки» силами Ван-дер-Ваальса были перенесены на поверхность контртела.

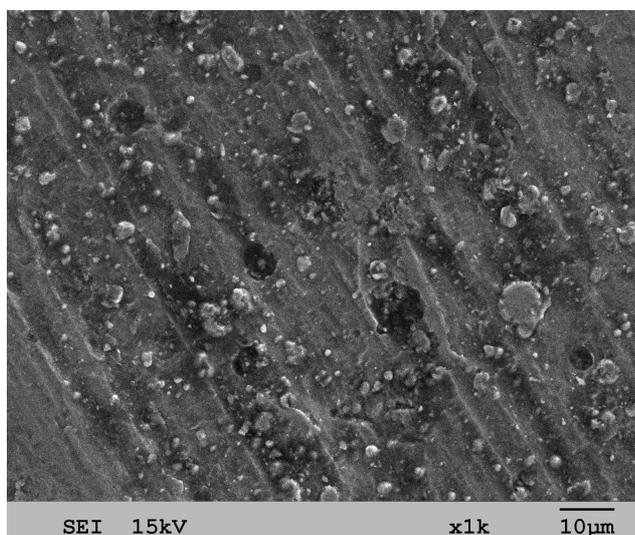
Участки зон I и I' на образцах-пластинах имеют черный цвет. При царапании лезвием под микроскопом черный налет в зоне I на пластине снимается и оголяет

*) Появление здесь хрома также связано с хроматированием, которому подвергаются шайбы после кадмирования.

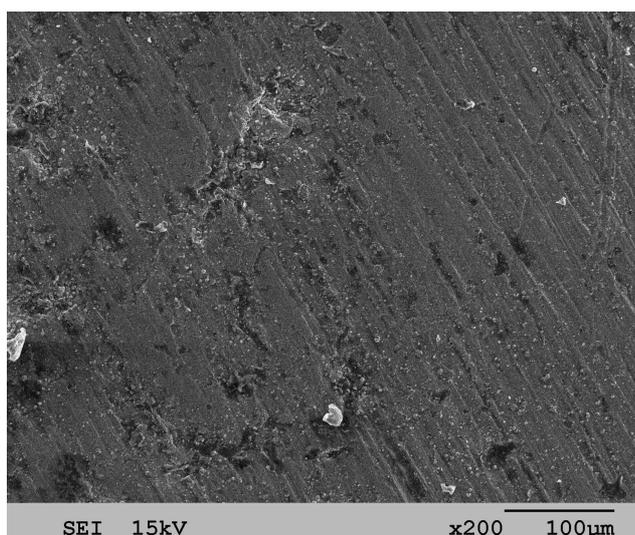
блестящую поверхность с неровностями. В зоне II цвет покрытия более темный по сравнению с исходной. При царапании лезвием тоже появляется блеск.

Спектральный анализ поверхности излома образца-пластины показал содержание Al, Mg, Cu, кислорода, причем важно отметить, что ближе к поверхности пластины в изломе содержится больше кислорода.

Что касается поверхности фреттинг-изнашивания шайбы с вакуумно-плазменным покрытием, то можно сказать, что в начальной стадии фреттинг-изнашивания поверхность покрытия практически не меняется (рис. 18, а) и выглядит довольно однородной (рис. 18, б). В зонах I и I' на поверхности покрытий появляются язвы и неоднородности (появление неоднородностей хорошо видно на макроснимках – см. рис. 8–9). В некоторых областях наблюдается послойное разрушение покрытий (рис. 19). Наблюдаются также карманы с остатками продуктов изнашивания (рис. 20).



а



б

Рис. 18. Поверхность шайбы 2.6.1 в зоне II на начальной стадии фреттинг-изнашивания при разных увеличениях

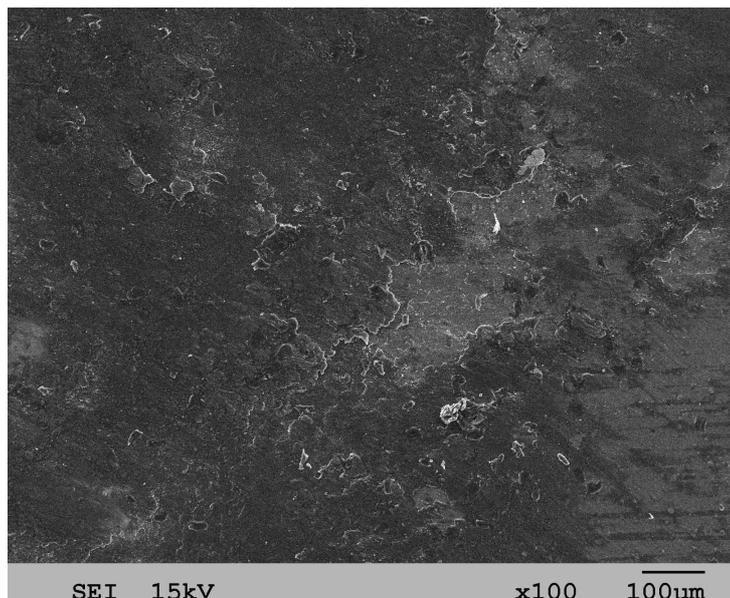


Рис. 19. Послойное изнашивание вакуумно-плазменного покрытия (поверхность шайбы 6.6.1 в зоне II)

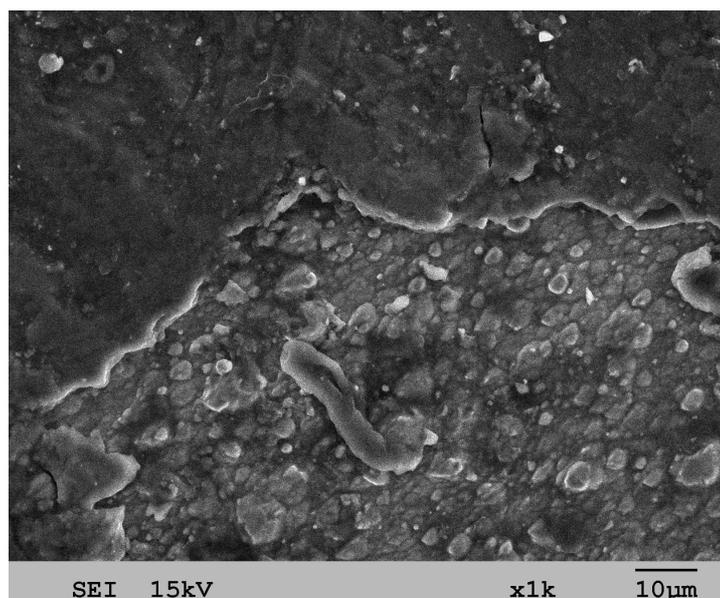


Рис. 20. Карман с продуктами изнашивания на поверхности шайбы 6.6.1 в зоне I

На рис. 21 показан характерный вид поверхности шайбы с вакуумно-плазменным покрытием в зоне II, где фреттинг-изнашивание было умеренным. Здесь серые участки отвечают преимущественно алюминию и кислороду, а светлые участки – титану, хрому, азоту и кислороду, т. е. главным образом покрытию. По всей поверхности контакта вакуумно-плазменные покрытия на шайбе имеют неровности (поверхность напоминает эродированную). В зоне I наблюдается темноватый (несплошной) налет, а в зоне II цвет покрытия – тускло-золотистый. Царапание лезвием в зоне I и в зоне II приводит к появлению более светлой поверхности вакуумно-плазменного покрытия.

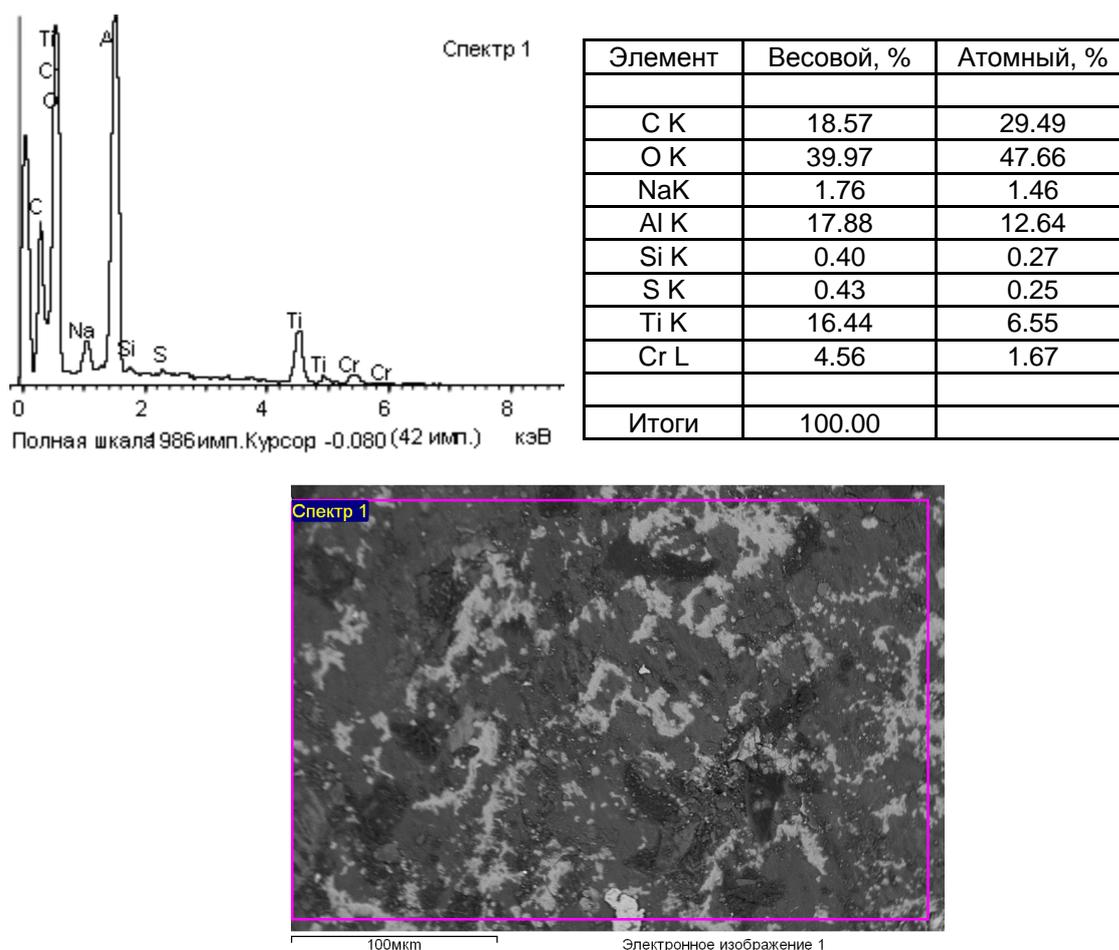


Рис. 21. Микроспектральный анализ характерных структурных составляющих на поверхности шайбы 2.6.1 в зоне II (общий спектр с большой плоскости)

Таким образом значительная часть вакуумно-плазменного покрытия на шайбе оказывается прикрытой тонким слоем оксида алюминия, который переносится на шайбу с поверхности образца-пластины. На рис. 21 светлые участки – это участки исходного вакуумно-плазменного покрытия, которые оказались неприкрытыми оксидом алюминия.

На анодированных пластинах в зоне II четко проявляются пупырышки (независимо от вида покрытий на шайбах). На шайбах с кадмиевым покрытием соответствующим элементом являются углубления. На наш взгляд, эти углубления появляются в довольно мягком покрытии кадмия как отпечатки пупырышков на пластинах. Концентрация и размер пупырышков зависят от локальных давлений, прижимающих контртела, а также от амплитуды проскальзывания.

Пупырышки образуются в результате нагрузки и «расшатывания» объемов естественных неровностей пластины. При контакте с кадмиевым покрытием сопротивление проскальзыванию оказывает главным образом именно это покрытие: неровность поверхности пластины фактически «пропахивает» кадмиевый слой, нагружаясь при этом напряжениями, которые возникают от пластического оттеснения кадмия. Уровень напряжений на краях пупырышка обуславливает его «долговечность». Чем больше эти напряжения, тем быстрее произойдет выкрашивание материала пупырышка.

Этот процесс протекает на всей поверхности и приводит к развитию фреттинг-износа. Нужно подчеркнуть два обстоятельства. Во-первых, изнашивание, которое происходит, по сути не является в этом случае адгезионно-усталостным, поскольку не адгезионные силы являются причиной тангенциального нагружения пупырышков. Во-вторых, усталостные трещины на пластине оказывают зачастую заполненными кадмием, что должно снижать скорость изнашивания, так как кадмий закрывает путь атомам кислорода для проникновения в трещину, где кислород оказывает негативную роль, пассивируя берега трещины, и исключает возможности залечивания трещины при уменьшении величины растягивающей нагрузки.

Зоны I и I' отличаются от зоны II более поздней стадией изнашивания, когда в процесс включается абразивное и каталитическое влияние продуктов изнашивания, что и определяет его высокую интенсивность. Вместе с тем можно утверждать, что первая стадия процесса, которая связана с разрушением неровностей, существенно замедляется благодаря кадмиевому покрытию (без этого покрытия процесс шел бы ускоренно вследствие адгезионно-усталостного разрушения контактирующих поверхностей образца-пластины и стальной шайбы)^{*)}. Кадмий обеспечивает разгрузку неровностей, замедляет проникновение кислорода в поверхностный слой пластины и в целом замедляет процесс фреттинг-износа.

Процесс выкрашивания материала пупырышков, очевидно, происходит сначала в пределах оксидированного слоя, а потом переходит в основу – сплав Д16АТ. Продукты изнашивания, которые отделяются, активно окисляются, окрашиваются в характерный черный цвет и принимают участие в абразивном изнашивании обоих контртел.

Перемещение черного окисла Al, который образовался при фреттинге, на контртело мало меняет механизм дальнейшего процесса. Этот слой, по видимому, имеет физическую адгезию к Cd и не мешает основному процессу. Об этом свидетельствует легкость, с которой удастся лезвием без особых усилий счистить черный слой с кадмиевого покрытия. Создается впечатление, что кадмиевое покрытие мало стирается с контактной поверхности шайбы на протяжении всего времени испытаний.

При контакте пластин с вакуумно-плазменным покрытием ситуация меняется. В этом случае на пластине также образуются пупырышки, но они мельче. Рядом с пупырышками есть и впадины. Поверхность контртела (шайбы с вакуумно-плазменным покрытием) оказывается побитой (похожей на эродированную), но покрытие на поверхности шайбы насквозь не разрушается.

Образование пупырышков в этом случае связано с началом выкрашивания поверхности пластины, однако нагружение соответствующих неровностей носит адгезионный характер, причем возникающая при этом сила трения, очевидно, меньше, чем в случае кадмиевого покрытия. Это приводит к меньшим тангенциальным напряжениям, нагружающим неровности, и увеличению долговечности каждой неровности, которая интегрально ведет к снижению интенсивности фреттинг-износа.

Как и в случае кадмиевого покрытия, черные окислы Al, образовавшиеся при фреттинге, переносятся на вакуумно-плазменное покрытие, особенно в зонах I и I', что приводит к потемнению соответствующих зон на шайбах. Однако в этом случае темный налет опять-таки легко удаляется с покрытия, а его наличие на покрытии также определяется, вероятно, физической адгезией. Поэтому темный

^{*)} При условии контакта стальной шайбы с образцом-пластиной можно было бы ожидать значительного схватывания контртел.

слой не влияет на последующее протекание процесса. Безусловно, в процессе контактов, которые повторяются, покрытие постепенно разрушается. Но это разрушение носит адгезионно-усталостный характер и протекает медленно и послойно. Качество покрытия в этом смысле существенно зависит от адгезионной связи его слоев. Некоторую роль в разрушении вакуумно-плазменного покрытия могут играть высокие прижимающие нагрузки, которые вдавливают неровности, образовавшиеся на пластине, в шайбу с вакуумно-плазменным покрытием. Этому может способствовать низкая твердость стальной шайбы (неровности контртела могут вдавливаться в шайбу через тонкий слой покрытия, немного разрушая его). Поэтому тонкий поверхностный слой шайбы перед нанесением покрытий хорошо было бы упрочнять азотированием или лазерной обработкой.

Выводы

С использованием оптической и сканирующей микроскопии совместно с микрорентгеноспектральным анализом изучены элементы разрушения поверхностей тел, находившихся в контакте при фреттинг-коррозии, и влияние на этот процесс вакуумно-плазменного покрытия. Установлено следующее:

1. Анализ макроструктуры отпечатков показал независимо от вида покрытий существенную пластическую деформацию материала образца-пластины с элементами вытеснения его из-под поверхности контакта при фреттинге. Обнаружено существование двух зон: интенсивного (I и I'), а также малоинтенсивного фреттинг-изнашивания (II). Зона II характеризуется появлением неоднородностей-углублений на поверхности шайбы и пупырышков на поверхности пластины.

2. Изнашивание при контакте кадмированной шайбы с образцом-пластиной не является адгезионно-усталостным. Положительное влияние кадмиевого покрытия объясняется замедлением первой стадии фреттинг-износа, когда кадмий заполняет трещины, предотвращая доступ кислорода в поверхностный слой пластины.

3. Вакуумно-плазменное покрытие на шайбе существенно снижает интенсивность изнашивания поверхностей контакта на пластине в начальной стадии фреттинг-коррозии, которое в этом случае является адгезионно-усталостным. Низкая адгезионная активность покрытия обеспечивает повышение усталостной долговечности пластины.

4. По результатам наблюдений предложены детали механизма начального этапа фреттинг-коррозии.

Список литературы

1. Технология выполнения высокоресурсных заклепочных и болтовых соединений в конструкциях самолетов / А.И. Ярковец О.С. Сироткин В.А. Фирсов, Н.М. Киселев. – М.: Машиностроение, 1987. – 192 с.
2. Гребеников А.Г. Методология интегрированного проектирования и моделирования сборных самолетных конструкций / А.Г. Гребеников. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ», 2006. – 532 с.
3. Методы определения влияния конструктивно-технологических параметров на выносливость элементов планера самолёта / А.Г. Гребеников, С.В. Трубаев, В.А. Гребеников и др. // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 10. – Х., 2001. – С. 19 – 54.
4. Степнов М.Н. Усталость легких конструкционных сплавов / М.Н. Степнов, Е.В. Гиацинтов. – М.: Машиностроение, 1973. – 214 с.

5. Хейвуд Р.Б. Проектирование с учетом усталости / Р.Б. Хейвуд; пер. с англ; под ред. И.Ф. Образцова. – М.: Машиностроение, 1969. – 504 с.
6. Соппротивление усталости элементов конструкций / А.З. Воробьев, Б.И. Олькин, В.Н. Стебнев, Т.С. Родченко. – М.: Машиностроение, 1990. – 240 с.
7. Голего Н.Л. Фреттинг-коррозия металлов / Н.Л. Голего, А.Л. Алябьев, В.В. Шевеля. – К.: Техніка, 1974. – 270 с.
8. Экспериментальное исследование влияния вакуумно-плазменного покрытия, нанесенного на шайбы, на усталостную долговечность конструктивных элементов в условиях фреттинг-коррозии / А.Г. Гребеников, А.М. Гуменный, И.П. Змиевской, В.Н. Клименко, В.М. Мацевитый, С.В. Ляшок // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм.ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 43. – Х., 2009. – С. 243 – 254.

Рецензент: д-р техн. наук, проф., зав. каф. П. А. Фомичев, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков.

Поступила в редакцию 01.02.10

Вплив вакуумно-плазмового покриття з низькою адгезійною активністю на руйнування дотичних поверхонь зразків в умовах фреттинг-корозії

Досліджено вплив вакуумно-плазмового покриття $\{Cr+(TiCr)N\}$ з низькою адгезійною активністю на руйнування поверхонь дотичних зразків – плоских пластин з алюмінієвого сплаву Д16АТ і сталевих шайб з указаним вище покриттям в умовах спільної дії циклічних розтягальних навантажень і фреттинг-корозії. Встановлено, що підвищення втомної довговічності пластин при використанні покриття забезпечується зменшенням інтенсивності зношування поверхонь контакту на пластинах у початковій стадії процесу шляхом зниження скріплення нерівностей контртіл і зменшення фреттинг-утомних пошкоджень.

Ключові слова: втомна довговічність, фреттинг-корозія, вакуумно-плазмове покриття, адгезійна активність, схоплювання, пластина, шайба.

Effect of a vacuum-plasma coating with low adhesive activity on fracture of surfaces contacting samples under the conditions of a fretting-corrosion

Effect of a vacuum-plasma coating $\{Cr + (TiCr)N\}$ with low adhesive activity on fracture of surfaces contacting samples – flat plates from aluminium alloy Д16АТ and steel washers with the above-stated coating at a combined effect of cyclic stretching loadings and a fretting-corrosion is researched. It is determined, that increase of fatigue durability of plates at use of coating is provided by diminution of wear rate of contacting surfaces by plates at the initial stage of process due to decrease of a seizure of unevennesses of counterbodies and diminution of fretting-fatigue damages.

Keywords: fatigue durability, fretting-corrosion, vacuum-plasma coating, adhesive activity, seizure, plate, washer.