



УДК 620.19

**Н. М. Тудакова**, к.т.н., доцент каф. ТиОМ НГТУ им Р.Е. Алексеева  
603950, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24

### **ФРЕТТИНГ-КОРРОЗИЯ И КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ ЕЕ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ**

*Ключевые слова: Фреттинг-коррозия, предотвращение, борьба, способ, технологии, конструкции.*

*Рассмотрены конструкторские и технологические способы борьбы с фреттинг-коррозией.*

Фреттинг-износ, фреттинг-коррозия и фреттинг-усталость как совокупность последовательных стадий единого процесса. Из-за наибольшей продолжительности, второй назван фреттинг-коррозией [1, 2, 3]. Латентность фреттинг-износа проявляется в виде черных пятен и изменении геометрии сопряжения со сборочного на эксплуатационный натяг (ведет к потере натяга), а фреттинг-усталость ведет к необратимым разрушениям конструкции [1, 4]. Наибольший ущерб приносит фреттинг-коррозия крупногабаритных ресурсонесущих конструкций. Из-за труднодоступности, латентности, продолжительности фреттинга, поражающего крупногабаритные, дорогостоящие, ресурсонесущие конструкции, доступ к которым ограничен особенностями собираемости-разбираемости и контроля их соединений, внимание к этому процессу уделяется недостаточно.

Фреттинг-коррозия возникает в номинально неподвижных вибронгруженных сочленениях металл-металл, металл-полимерный композиционный материал (стеклопластик, стеклоуглепластик) при малой частоте  $f = 25 \dots 50$  Гц, амплитудой  $A = 10^{-5}$  мм. При этом степень снижения выносливости деталей в результате действия фреттинг-коррозии может составить  $K_{\sigma} \geq 2 \dots 4$  и более. Механизм фреттинг-коррозии обусловлен протеканием комплекса синергетических процессов: изменением структур материалов в поверхностных слоях в условиях вибрационного нагружения на дискретно изменяющейся площади фактического контакта, физико-химическими процессами на границе раздела твердых тел с ограниченным доступом окружающей среды в соединение с натягом, разрушением материалов при отделении их фрагментов, взаимодействии фрагментов разрушения с поверхностями контакта и между собой, разрушение стыка.

Фреттинг-коррозии подвержены: в машиностроении - подшипниковые опоры электродвигателей, соединения контактных плат [5].; в компрессоростроении - узлы крепления гребней упорных масляных подшипников на валу центробежных компрессорных машин; в судостроении - узлы крепления судовых станций очистки сточных вод, двигателей; в мостовых конструкциях - узлы крепления; на АЭС - вибрирующие поверхности оболочки тепловыделяющие элементы [6, 7].; в энергетическом турбостроении - узлы крепления и навески, фреттинг-износ трубок теплообменников.

В авиастроении фреттинг-коррозия встречается в узлах навески консолей крыла, оперения, силовых установок [8]; высоконагруженные подшипниковые узлы осевых шарниров винтов вертолетов, работающие при качательном движении с малыми амплитудами, замковая часть лопаток компрессоров, контактные поверхности рабочих и силовых лопаток бандажных полок первых ступеней газотурбинных двигателей [9, 10].

В медицине фреттинг-коррозии подвержены силовые конструкции имплантируемых медицинских изделий, испытывающие в агрессивной биологической среде организма человека знакопеременные нагрузки с малыми амплитудами и частотами, например, шаровые головки эндопротезов тазобедренного и коленных суставов, а в стоматологии - соприкасающиеся зубные протезные конструкции [11, 12].

Рассмотрим конструкторско-технологические способы предотвращения фреттинг-коррозии (рис. 1).

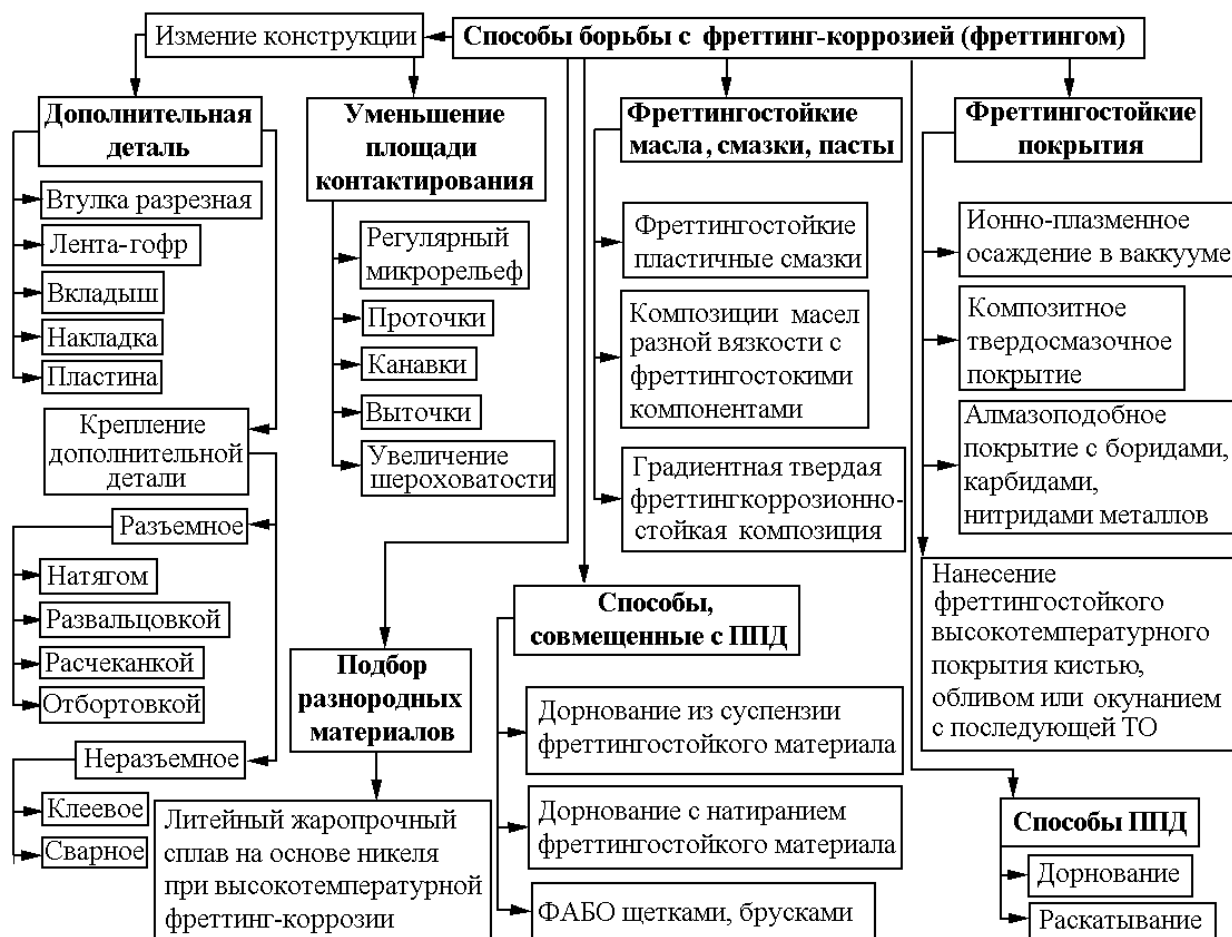


Рис. 1. Классификация способов борьбы с фреттинг-коррозией

Изменения конструкций соединений, работающих в условиях фреттинг-коррозии, направлены на снижение или полное исключение микроперемещений контактных поверхностей за счет закрепления с натягом, отбортовкой, склеиванием, сваркой, введением дополнительных разделительных конструктивных элементов в большинстве случаев с предварительным нанесением на них антифрикционных материалов, которые при разнородности материалов способны частично компенсировать разницу коэффициентов линейного расширения между сопрягаемыми деталями. Для антифреттинговой защиты высокоточных соединений Фокин И.Н. и др. разработали способ установки с натягом и предварительным нанесением антифрикционно-клеевой композиции отбортованной втулки, обеспечивающий примерно двухкратное увеличение долговечности

восстановленных подшипниковых сопряжений. Колесников В.И., Евдокимов Ю.А., Корниенко Б.Н., Фокин И.Н. [13] предложили тонкостенную втулку выполнять из нескольких вкладышей с противоположным чередованием клеевой и антифрикционных композиций на них, что позволяет снизить влияние фреттинг-коррозии на долговечность соединений. В компрессоростроении для предотвращения фреттинг-коррозии в узлах крепления гребней упорных масляных подшипников Ахметзянов А.М., Гузельбаев Я. З. и Сидоров В.П. [14] применяют рифленую ленту из пружинной стали с постоянной величиной впадин и выступов, располагаемой в кольцевом пазу.

Фреттинг-износ под головками болтов и гаек узлов крепления транспортных средств, возникающий при воздействии разнонаправленной вибрации, Оотаке Наото и Мацуо Макото [15] предлагают снижать введением прокладки с регулярным рельефом, с нанесенным алмазоподобным углеродом.

Изменения геометрии сопряжений. Все известные способы геометрической модификации сопряжения деталей, работающих в условиях ФК, направлены на минимизацию площади контактирования, в большинстве случаев формируют дополнительные концентраторы напряжений – пазы, проточки, микрошлицы, канавки, впадины, выступы. При этом следует учитывать габариты ресурсонесущих узлов и их разбираемость. Для выхода из зоны контакта продуктов фреттинг-коррозии многократно перенаклепанных частиц сколов и вырывов, обладающих повышенной твердостью и шарширяющих (разъедающих – frett ) поверхности соединений деталей, Шнейдер Ю.Г. [16] разработал способы формирования регулярных микрорельефов (РМР) и частично регулярных микрорельефов (ЧРМР) и одновременно «карманов» для пополнения зоны контактирования смазкой. Параллельные кольцевые и спиральные бороздки для сопряжений радиально-упорных шарикоподшипников турбохолодильников с целью предотвращения фреттинг-коррозии предложили выполнять Горбунов А.М., Брагин А.Н., Морозов Г.В., Пушкин Б.Б. [17].

При высокотемпературной фреттинг-коррозии (свыше 900<sup>0</sup>С) на контактные поверхности рабочих и сопловых лопаток, бандажных полок лопаток первой ступени газотурбинных двигателей Копылов А.Г., Дубровский В.А., Батуев В.Н. [18] наплавляют литейный жаропрочный сплав на основе никеля в виде пластин. За счет измельчения и упрочнения границ зерен, образования устойчивых интерметаллидных, карбидных фаз повышается стойкость наплавленного материала против образования горячих трещин, а за счет повышения исходной твердости фреттингостойкость контактных поверхностей деталей судовых силовых установок [19]. Наряду с этим в соединениях при ФК, работающих в условиях переменных контактных давлений и высоких температур в зоне ГТД, используют более жесткие допуски на детали сопряжения.

Состав для получения фреттингостойкого покрытия, применимое во всеклиматических условиях от -60 до +230<sup>0</sup>С на основе композиции смол с добавлением диспергированных дисульфида молибдена и графита Иванов Е.В., Белова З.А., Кожухова В.Б. и др. [20] в виде суспензии наносили кистью, наливом или рапылением и в течение 1 ч отверждали при температуре 200...210<sup>0</sup>С. Стойкость к контактному износу в условиях фреттинг-коррозии деталей из сталей, никелевых и титановых сплавов энергетического и турбостроения Мубояджян С.А. и Егорова Л.П. [21] предложили повысить путем применения состава на основе порошка дисилицида молибдена.

Низкозастывающее масло, способствующее торможению процессов контактной фреттинг-коррозии в высоконагруженных подшипниковых узлах осевых шарниров винтов вертолетов, работающих при качательном движении с малыми амплитудами в отрицательных температурах до -50<sup>0</sup>С осенне-зимней навигации, разработали Лейканд М.А., Юрьев М.С., Фертман А.М., Козлова А.И. и др. [22].

Снижение склонности к схватыванию на начальных этапах зарождения фреттинг-износа может быть достигнуто путем модифицирующего воздействия на одну из контактирующих деталей с целью формирования прослойки, обладающей

разнородностью в различии химического и фазового составов, измененной структурой, напряженного состояния и т.д. [23]. Способ повышения фреттинг-стойкости поверхностей бандажных полок рабочих лопаток турбомашин разработали Смыслов А.М., Исанбердин А.Н., Селиванов К.С. [24]. Способ заключается в ионной имплантации на контактные поверхности путем нагрева их электрической дугой с переплавлением материала. В результате внедрения в материал ионов имплантируемого вещества на глубине до 100...120 мкм изменяется химический состав материала и его физико-химические и механические свойства. Большинство совмещенных процессов направлены на перемещение поверхности раздела в сторону материала основы, стремясь создать с исходным материалом единое целое, не ограниченное какой-либо поверхностью раздела и способствуют повышению сдвиговой устойчивости (20,5 ГПа) при значительных касательных напряжениях в условиях фреттинг-износа. Полещенко К.Н., Мухин В.А., Гринберг П.Б. и др. [25] разработали способ ионной имплантации и химического модифицирования нитридов и карбидов железа, титана, кобальта и вольфрама, повышающий микротвердость поверхности на глубине до 1,2-1,4 мкм.

Алмазоподобное покрытие, которое разработали Чабак А.А., Долгий Д.И., Щипихин Ю.В., Дубровин К.П. [26], из материала с микротвердостью, превышающей микротвердость конструкционных материалов, обеспечивает защиту вибрирующих поверхностей оболочек тепловыделяющих элементов дистанцирующих решеток от фреттинг-коррозии. Более высокая твердость покрытий сопрягаемых поверхностей (5-25 мкм) позволяет обеспечить защиту от истирания под действием вибрации фреттинг-коррозии оборудования и элементов контура энергетических установок и АЭС. С целью подавления фреттинг-коррозии за счет повышения адгезии и прочности покрытия с более высокой микротвердостью, чем окисел конструкционного материала Бушмин Б.В., Васильковский В.С., Хазов И.А. и др. [27] предложили его новую многослойную структуру – «материал основы»-«подслой» с переходными зонами, разрушающимися ионно-плазменными потоками окисную пленку в ходе формирования покрытия. Многослойное покрытие состоит из подслоя менее твердого

Композитные твердосмазочные покрытия Лесневский Л.Н., Тюрин В.Н., Ушаков А.М. [28] напыляют из нитрида титана и свинца в вакуумной среде аргона и азота, которые позволяют повысить задиростокость при высоких контактных давлениях и фреттингостойкость.

Твердость любого окисла на порядок выше материала основы, а введение в конструкцию дополнительной детали, а тем более уменьшение предварительной площади контактирования (рис. 1) приводит к увеличению доступа кислорода в соединение. Так как фреттинг-коррозия номинально неподвижных сопряжений сопровождается вибрацией при малой частоте и амплитуде ( $f=25...50$  Гц,  $A=10^{-5}$  мм), то формирование окисла можно описать адсорбцией кислорода в пластически деформируемой среде.

Сродство большинства металлов к кислороду настолько высоко, что при комнатной температуре по данным Л.И. Гурского, В.А. Зеленина [29, с 132] на поверхности металла почти мгновенно протекает необратимая адсорбция, за которой следует процесс окисления. Кинетика роста, структура и свойства окисной пленки зависит также от состояния поверхностного слоя металла, его текстуры и плотности дефектов.

Влияние пластической деформации на коррозионные процессы заключается [26, с 56] не в усилении общей коррозии, а в значительном увеличении электрохимической неоднородности металла, приводящей к локальному его растворению. Пластическая деформация стали приводит к смещению потенциала нулевого заряда металла в сторону отрицательных значений. Вероятной причиной появления заряда на поверхности деформированного металла, по мнению Гурского Л.И. и Зеленина В.А. [29, с 63], является повышение плотности дислокаций на поверхности металла, существенно увеличивающей его адсорбционную способность.

В местах адсорбции кислорода происходят процессы образования пассивирующего слоя. Существует несколько точек зрения на природу пассивности металла:

- 1) согласно первой, пассивность металла обусловлена наличием на его поверхности тонкой беспористой и электропроводной пленки окисла, которая изолирует металл от воздействия агрессивной среды;
- 2) сторонники второй теории считают, что пассивность металла обусловлена наличием на его поверхности адсорбированного пассивирующего слоя кислорода толщиной порядка монослоя или даже долей монослоя;
- 3) по данным Томашова Н.Д. [29] выявлено сближение представлений адсорбционного и пленочного механизмов пассивности.

Наиболее вероятно, что образование пассивных участков происходит в первую очередь на дефектах кристаллической решетки поверхностного слоя металла.

Существенное влияние на скорость окисления ряда металлов могут оказывать структурные характеристики поверхностного слоя: текстура, плотность дислокаций, внутренние напряжения и др. Зародышеобразование окисла происходит не одновременно по всей поверхности металла, а на энергетически выгодных местах, которыми могут являться места выхода дислокаций на поверхность, линии скольжения, границы зерен.

В ряде случаев зародышеобразование локализуется на примесях и структурных дефектах и зависит от состояния поверхности металла. Скорость растворения деформированного металла, часть поверхности которой покрыта пассивирующей пленкой можно представить

$$i_+ = K_c(1 - S_d) \exp\left(\frac{\alpha z F}{RT} \eta_+\right), \quad (1)$$

где  $K_c$  – структурно-чувствительный параметр;  $S_d$  – суммарная доля несовершенств на поверхности деформированного материала;  $\alpha$  – коэффициент перехода;  $z$  – валентность перехода реакции пассивации;  $F$  – число Фарадея;  $R$  – газовая постоянная;  $T$  – абсолютная температура.

Равновесный потенциал определяет уравнение Нернста [30, с. 74]

$$\varphi^0 = \varphi_0 + \frac{RT}{zF} \ln \frac{a_{\text{Me}^{z+}}}{a_{\text{Me}}}, \quad (2)$$

где  $\varphi_0$  – нормальный потенциал металла;  $a_{\text{Me}}$  – активность атомов, находящихся в поверхностном слое кристаллической решетки металла;  $a_{\text{Me}^{z+}}$  – активность ионов металла в приповерхностном слое (растворе) при фреттинге.

Пластическая деформация, как указывалось выше, приводит к смещению потенциала нулевого заряда металла в сторону отрицательных значений. Сдвиг электродного потенциала деформированного металла от равновесного значения  $\varphi_0$  будет зависеть от распределения поверхностных атомов по энергетическим состояниям, которое может быть выражено с помощью, так называемой суммы состояний, т.е. просто суммы членов, определяющих число атомов в каждом энергетическом состоянии  $E_i$ , взятой по всем энергетическим состояниям

$$\sum G_i \exp\left(-\frac{E_i}{kT}\right), \quad (3)$$

где  $G_i$  – поверхностная концентрация атомов  $i$ -го состояния;  $E_i$  – изменяется от  $E_0$  до

$$E_m = E_0 + \Delta E, \quad (4)$$

где  $E_0$  – минимальный уровень энергии поверхностного атома металла;  $E_m$  – максимальный уровень энергии поверхностного атома деформированного металла;  $\Delta E$  – максимальное приращение энергии атома.

При энергии активации перехода атома металла в приповерхностный слой  $E_a$  возможна ионизация только тех поверхностных атомов, энергия которых в данный момент выше энергии активации, т.е. для которых выполняется условие

$$E_i - E_a > 0, \quad (5)$$

Концентрация этих атомов в приповерхностном слое металла  $C$  может быть описана уравнением

$$C = C_0 e^{-\frac{E_a}{kT}}, \quad (6)$$

где  $C_0$  – концентрация поверхностных атомов отожженного металла.

Скорость процесса переходов атомов деформированного металла в приповерхностную область фреттинга (скорость ионизации) в некоторый момент времени будет равна

$$i_+ = PC_0 e^{-\frac{E_a}{kT}}, \quad (7)$$

где  $P$  – вероятность перехода атома в приповерхностный слой фреттинга.

Вероятность  $P$  не является постоянной величиной, а ее изменение со временем обусловлено тем, что вследствие значительно большего диапазона уровней энергии поверхностных атомов у деформированного металла происходит постоянное изменение величины суммы состояний  $\sum G_i$ .

Таким образом, пластическая деформация повышает [30, с. 141] как термодинамическую возможность образования окисла на поверхности металла, так и скорость этого процесса.

Для повышения фреттингостойкости сопряжений изделий автором совместно с Сорокиным В.М. разработаны способы комбинированной антифрикционно-упрочняющей обработки, обеспечивающие формирование упрочненного поверхностного слоя на рабочих поверхностях ответственных деталей машин, совмещающий операции нанесения на поверхность деталей антифрикционного покрытия ( $\text{MoS}_2$ ,  $\text{Cu}$  и т. п.) и поверхностно-пластической деформацией (ППД) дорнованием в одном инструменте [8, 31, 32]. Под действием больших удельных давлений и температур происходят сложные физико-механо-химические процессы, в частности, реализуется процесс ускоренного массопереноса («диффузии») элементов покрытия и основы металла, причем этому способствует пластическое разрыхление, образование плотной дислокационной структуры и микропустот. Повышенными «диффузионными» свойствами обладают границы зерен, а их перемещение по контакту с другим телом или прослойкой создает условие «отсоса» поверхностных атомов вглубь тела по мере перемещения их границ. Нанесение различных элементов покрытия из состава суспензии позволяет исключить попадание кислорода в процессе формирования антифрикционно-упрочненного поверхностного слоя и уменьшить склонность к схватыванию и адгезии на стадии фреттинг-износа с учетом вибрационной и амплитудной составляющих.

В результате данной обработки [28, 29] формируется антифрикционно-упрочненный поверхностный слой толщиной 0,1...0,3 мм с глубиной проникновения антифрикционных элементов 0,010...0,025 мм, шероховатость поверхности  $R_a=0,25...0,4$  мкм, остаточными напряжениями сжатия  $\sigma_{\text{ост}}=300...800$  МПа.

### Список литературы:

- [1]. Уоттерхауз, Р.Б. Фреттинг-коррозия/Р.Б. Уоттерхауз. – Л.: Машиностроение, 1976. – 272 с.
- [2]. Филимонов, Г.Н. Фреттинг в соединениях судовых деталей/Г.Н. Филимонов, Л.Т. Балацкий. – Л.: Судостроение, 1973. – 296 с.
- [3]. Голего, Н.Л. Фреттинг-коррозия/Н.Л. Голего, А.Н. Алябьев, В.В. Шевеля – Киев: Техника, 1974. – 172 с.

- [4]. Hills, Nowell, D. Mechanism of fretting fatigue, Dordrecht, Boston, Kluwer Academic Publisher, 1994.
- [5]. Ito, T., Matsushima, M., Takata, K., Hattori, Y. Factors Influencing Fretting Corrosion of Tin Plated Contacts//SEI. Technical Prviev. No 64. April, 2007.
- [6]. C.A. Brown, and a., Fuel Rod Vibration and Fretting Impact on Reliability, LWR Fuel Performance, 10-13 April, 2000, USA.
- [7]. Baillon N, Grid to Rod Fretting Wear in EDF PWR From Operating Problems To New Designees Qualification Method, France. IAEA, Technical Meeting on Fuel Assembly Structural Behavior, 22-26 November 2004, Cucaracha, France.
- [8]. Тудакова, Н.М. Повышение качества и эксплуатационных свойств поверхностей деталей многозвенных ушковых соединений, работающих в условиях фреттинг-коррозии, на основе комбинированной упрочняющей обработки (на примере стыковых соединений планера самолета). Дисс. канд. техн. наук./ Н.Новгород НГТУ – 2002. – 190 с.
- [9]. Hoepfner, D.W. and Adibnazari, S.: Fretting Fatigue in Aircraft Joints Presented to the International Committee of Aeronautical Fatigue in Stockholm, Sweden, June 1993.
- [10]. Hoepfner, D.W., Elliot, C.B.III, Moesser M.W. The Role of Fretting Fatigue on Aircraft Rivel Hole Cracking. Technical report DOT/FAA/AR – 96/10, Federal Aviation Administration, Salt Lake City, UT.
- [11]. Viceconti M et al. Fretting wear in modular neck hip prosthesis. J Biomed Mater Res 1997; 35-2, 207-216.
- [12]. Tritschler B, Forcst B, Rieu J. Fretting corrosion of materials for orthopedic implants: a study of a metal/polymer contact in an artificial physiological medium, Tiibol Int 1999; 32: 587-596.
- [13]. Пат. 2282066 РФ, МПК F16B11/00. Неподвижное соединение деталей цилиндрической формы/В.И. Колесников [и др.] № 2004117513/02; заявл. 08.06.04; опуб. 10.01.06.
- [14]. Пат. 2373438 РФ, МПК F16C17/04, F04D29/04. Узел крепления упорного гребня масляных подшипников на валу/А.М. Ахметзянов, Я.З. Гузельбаев, В.П. Сидоров № 2006134710/11; заявл. 02.10.06; опуб. 10.04.08.
- [15]. Пат. 2466304 РФ, МПК F16B5/02, F16 B43/00. Прокладка, снижающая фреттинг-износ, и узлы крепления, в которых используется прокладка/Оотаке Наото, Мацуо Макото № 2010119958/12; заявл. 27.11.11; опуб. 10.11.12.
- [16]. Шнейдер, Ю.Г. Эксплуатационные свойства деталей с регулярным микрорельефом / Ю.Г. Шнейдер. – Л.: Машиностроение, 1982. 248 с.
- [17]. А. с. 774338 РФ, МПК F25B11/00. Турбохолодильник /А.М. Горбунов [и др.] № 2728302/06; заявл. 16.02.79; опуб. 10.03.06.
- [18]. Пат. 2112069 РФ, МПК6 С22С19/03,/05. Литейный жаропрочный сплав на основе никеля/А.Г. Копылов, В.А. Дубровский. № 96112046/02; заявл. 14.06.96; опуб. 27.05.98.
- [19]. Zhang W., Xue Q. Fretting wear characteristics of Ni/Cu multilayers electrodeposited on beryllium bronze substrate. Wear, 1998. Vol. 244 Н 23-29.
- [20]. Пат. 1771200 РФ, МПК5 С09D163/02, С09D161/14. Состав для получения фреттингостойкого покрытия/Е.В. Иванов [и др.] № 4784293/05; заявл. 11.12.89; опуб. 15.10.94.
- [21]. Пат. 2349681 РФ, МПК5 С23С26/00. Состав для получения покрытия/С.А. Мубояджян, Л.П. Егорова № 2007114132/02; заявл. 16.04.07; опуб. 20.03.09.
- [22]. Пат. 2100421 РФ, МПК6 С10М169/04. Масло для осевых шарниров винтов вертолетов/Леканд М.А. [и др.]. № 94044683/04; заявл. 16.12.94; опуб. 27.12.97.
- [23]. Farris T.N., Murthy H. High Temperature Fretting Fatigue of Single Crystal Nickel//Proc. 10<sup>th</sup> Nation. Turbine Engine HCF Conference, New Orleans LA, March 8-10, 2005.
- [24]. Пат. 2390581 РФ, МПК6 С23F15/00, С21D1/34, F01D5/28. Способ повышения

- фреттинг-стойкости деталей/А.М. Смыслов, А.Н. Исанбердин, К.С. Селиванов № 2008126867/02; заявл. 01.07.08; опуб. 27.05.10.
- [25]. Пат. 2268323 РФ, МПК6 С23С28/00, С23С14/48, С23С14/58. Способ получения градиентной твердой коррозионностойкой композиции на поверхности образцов из твердых сплавов и легированных сталей/К.Н. Полещенко [и др.] № 2004122491/02; заявл. 02.07.04; опуб. 20.01.06.
- [26]. Пат. 2195027 РФ, МПК7 G21С21/02, /04. Способ защиты внутриреакторных элементов от разрушения/А.Ф. Чабак [и др.] № 2001116822/06; заявл. 21.06.01; опуб. 20.12.02.
- [27]. Пат. 2427046 РФ, МПК G21С21/00. Способ защиты внутриреакторных элементов от разрушения/Б.В. Бушмин [и др.] № 2009143314/07; заявл. 25.11.09; опуб. 20.08.11.
- [28]. Пат. 2416675 РФ, МПК7 G23С14/35, /06, /02. Способ формирования композитных твердосмазочных покрытий на рабочих поверхностях узлов трения/Л.Н. Лесневский [и др.] № 2009106353/02; заявл. 26.02.09; опуб. 10.09.10.
- [29]. Гурский, Л.И. Структура и кинетика взаимодействия металла с окисляющими средами/Л.И. Гурский, В.А. Зеленин. – Минск «Наука и техника», 1982. – 192 с.
- [30]. Гурский, Л.И. Структура, топология и свойства пленочных резисторов / Л.И. Гурский [и др.]. – Минск: Наука и техника, 1987. – 264 с.
- [31]. А. с. 12807 РФ, МКИЗ 7В24В 39/00 Комбинированный инструмент для обработки внутренних цилиндрических поверхностей /Н.М. Тудакова, В.М. Сорокин (РФ). – № 99113500; заявл. 21.06.99; опуб. 10.02.2000.
- [32]. Пат. 2185270 РФ, МПК7 7В24В 39/00 Способ нанесения антифрикционного покрытия при поверхностном пластическом деформировании внутренних цилиндрических поверхностей/Сорокин В.М., Тудакова Н.М. [и др.] (РФ). – № 2000115940; заявл. 06.06.2000; опуб. 20.07.2002.

## **FRETTING-CORROSION AND DESIGN-TECHNOLOGICAL WAYS OF PREVENTING**

N.M. Tudakova

Nizhni Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev<sup>1</sup>

*Key words: fretting-corrosion, prevention, method technology, design, dorn, suspension*

*Fretting-corrosion and design-technological ways of preventing.*