

6. Висновки

1. Запропоновано комбінований метод оздоблювально-зміцнювальної обробки з використанням імпульсних джерел енергії лазерного променя та ультразвукових коливань;
2. Визначено вплив імпульсних лазерно-ультра-звукових джерел енергії на зміну структури,

параметрів шорсткості, ступеня нагартування та мікротвердості поверхневого шару бронзи БрАЖ9-4;

3. Визначено оптимальну величину енергії лазерного імпульсу для зміцнювальної обробки деталей із бронзи БрАЖ9-4 після лазерної обробки.

Література

1. Григорьянц, А. Г. Технологические процессы лазерной обработки [Текст] / А. Г. Григорьянц, И. Н. Шиганов, А. И. Мисюров. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2006. – 664 с.
2. Головка, Л. Ф. Лазерні технології та комп'ютерне моделювання [Текст] / під ред. Л. Ф. Головка, С. О. Лук'яненко. – К.: Вістка, 2009. – 296 с.
3. Полевой, С. Н. Упрочнение машиностроительных материалов [Текст] : Справочник / С. Н. Полевой, В. Д. Евдокимов. – М. : Машиностроение, 1994. – 496 с.
4. Одинцов, Л. Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием [Текст] / Л. Г. Одинцов. – М. : Машиностроение, 1997.
5. Вероман, В. Ю. Ультразвуковая обработка материалов. [Текст] / В. Ю. Вероман, А. Б. Аренков. – Л. : Машиностроение, 1971.
6. Киселёв, М. Г. Ультразвук в поверхностной обработке материалов [Текст] / М. Г. Киселёв, В. Т. Минченя, В. А. Ибрагимов. – Мин. : Тесей, 2001.
7. Спосіб лазерно-ультразвукової фінішної обробки [Текст] : пат. 60662 У України: МКП В 24 В 39/00, / Джемелінський В. В., Джемелінська Л. В., Лесик Д. А. – заявл. 01.12.10 ; опубл. 25.06.11, Бюл. №12. – 2 с.
8. Mordyuk, B., & Prokopenko, G. (2006). Mater. Sci. Eng., A Struct. Mater.: Prop. Microstruct. Process, 437, 396.
9. Mordyuk, B., Prokopenko, G., Vasylyev, M., & Lefimov. (2007). Mater. Sci. Eng., A Struct. Mater.: Prop. Microstruct. Process, 458, 253.
10. Mordyuk, B., & Prokopenko, G. (2007). J. Sound Vib, 308, 855.
11. Peyre, P., Fabbro, R., Merrien, P., & Lieurade, H. (1996). Mater. Sci. Eng., A Struct. Mater.: Prop. Microstruct. Process, 210, 102.
12. Devaux, D., Fabbro, R., Tollier, L., & Bartnicki, E. (1993). J. Appl. Phys, 74, 22-68.
13. Bugayev, A., Gupta, M., & Payne, R. (2006). Opt. Lasers Eng, 44, 102.

У даній роботі показані результати поверхневого зміцнення деталей в умовах саморозповсюдженого високотемпературного синтезу, які використовуються для деталей ракетно-космічної техніки. Приведені фотографії зміцнених матеріалів, результати фазового аналізу та виміру мікротвердості

Ключові слова: саморозповсюджуваний високотемпературний синтез, дифузія, поверхневе зміцнення, мікроструктура, поверхневий шар, мікротвердість

В данной работе показаны результаты поверхностного упрочнения деталей в условиях самораспространяющегося высокотемпературного синтеза, использующихся для деталей ракетно-космической техники. Приведены фотографии упрочненных материалов, результаты фазового анализа и измерения микротвердости

Ключевые слова: самораспространяющийся высокотемпературный синтез, диффузия, поверхностное упрочнение, микроструктура, поверхностный слой, микротвердость

УДК 621.793.6:669.35

ПОВЕРХНОСТНОЕ УПРОЧНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ВЫСОКОУГЛЕ- РОДИСТЫХ МАТЕ- РИАЛОВ В УСЛОВИЯХ САМОРАСПРОСТРА- НЯЮЩЕГОСЯ ВЫСОКОТЕМПЕ- РАТУРНОГО СИНТЕЗА

С. Н.Ткаченко

Младший научный сотрудник
Кафедра материаловедения и обработки металлов
Запорожская государственная инженерная академия
пр. Ленина, 22, г. Запорожье, Украина, 69006
E-mail: space7770@rambler.ru

1. Введение

В последнее время интерес к космической промышленности постоянно растет. Высокоуглеродистые материалы – наилучшие и главные конструкционные материалы для изделий космической индустрии, их масса составляет больше чем 90 % от других материалов [1]. Перспективные решения в производстве новых материалов должны обеспечить материалы с максимально оптимальными свойствами, позволяющими использование их в космосе. Весь комплекс свойств упрочненных материалов должен оказать чрезвычайное влияние на те области промышленности, которые занимаются космическим машиностроением, и отыграть важную роль в дальнейшем освоении космоса. Одним из наиболее эффективных технологических путей повышения надежности работы деталей из высокоуглеродистых материалов используемым в космической промышленности является нанесение на их рабочую поверхность различных покрытий [2]. Покрытие представляет поверхностный слой детали, целенаправленно создаваемый воздействием окружающей среды на поверхность детали, и характеризующийся конечной толщиной, а также химическим составом и структурно-фазовым состоянием, качественно отличающимися от аналогичных характеристик материала основы [3]. Незначительный расход материала покрытия и высокие характеристики поверхности детали обеспечивают повышенный интерес к разработке новых методов нанесения покрытий целевого назначения и широкое внедрение покрытий в космическую промышленность. На сегодняшний день актуальным является вопрос получения покрытий большей толщины с заданным химическим составом. Одним из методов повышения жаростойкости, адгезионной прочности, коррозионной стойкости и износостойкости является химико-термическая обработка (ХТО) в условиях самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС).

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС) представляет собой высокоинтенсивное экзотермическое взаимодействие химических элементов в конденсированной фазе, способное к самопроизвольному распространению в виде волны горения [4]. Благодаря высоким технологическим и физическим (тепловые свойства, электрические и магнитные характеристики) свойствам высокоуглеродистых материалов, используемых в качестве материала в ракетостроении применяется поверхностное упрочнение кремнием деталей в условиях теплового самовоспламенения, заключающегося в совмещении химических транспортных реакций с процессом теплового самовоспламенения порошковых смесей.

3. Цель и задачи исследования

Целью настоящей работы является разработка технологии поверхностного упрочнения деталей из высокоуглеродистых материалов применяемых в космической промышленности в условиях СВС, исследование

микроструктуры, исследование жаростойкости, адгезионной прочности, коррозионной стойкости и износостойкости упрочненных деталей, а также определение микротвердости и толщины поверхностного слоя.

4. Экспериментальные данные и их обработка

В качестве исследуемых материалов были выбраны высокоуглеродистые материалы марки АСЧ-1 (ГОСТ 1585-85), СЧ-20, СЧ-25 (ГОСТ 805-95), ВЧ 45-5, ВЧ 38-17, ВЧ 42-12 (ДСТУ 3925-99), композиционные материалы марки УУКМ на основе углеродной ткани “Урал НШ-215” и электродный графит ЭГ. В качестве источника тепла для протекания процесса диффузионного насыщения были использованы окислы Cr_2O_3 и SiO_2 . Газотранспортными реагентами были хлористый аммоний (NH_4Cl) и хлористый натрий (NaCl). Дисперсность порошков составляла 100-350 мкм. Поверхностное упрочнение образцов в условиях СВС осуществляли в реакторе открытого типа. Температуру СВС-смеси контролировали вольфрам-рениевой термпарой ВР-5 в защитном чехле, введенной непосредственно в ее объем.

Микроструктура упрочненного слоя исследовалась на световом микроскопе “Neophot-21”. Фазовый анализ осуществляли на рентгеноспектральном микроанализаторе MS-46, оснащенного приставкой электронного микроскопа ME 76. Испытание на жаростойкость осуществляли согласно ГОСТ 6130-71, испытание на адгезию – согласно методу вдавливания конического индентора, испытание на коррозионную стойкость определяли по изменению массы образцов до и после испытаний, испытание на износостойкость проводили по ГОСТ 23.224-86. Микротвердость измеряли на приборе “ПМТ-3” при нагрузке на индентор 1Н. Для расчета равновесного состава продуктов системы был использован прикладной пакет программ «АСТРА».

5. Результаты и их обсуждение

Толщина упрочняющих слоев зависит главным образом от температуры процесса и времени выдержки. Увеличение содержания кремния в шихте, способствует незначительному росту диффузионных слоев. Также увеличению слоев способствует добавление в реакционную шихту NaF. Толщина диффузионного слоя в зависимости от продолжительности процесса при определенной температуре выражается параболической зависимостью, т.е. с течением времени скорость увеличения толщины слоя непрерывно уменьшается, а толщина диффузионного слоя, при прочих равных условиях, тем больше, чем выше концентрация диффундирующего элемента на поверхности металла. Увеличение времени выдержки деталей в реакционной шихте с 2 до 4 ч увеличивает глубину слоя с 80-100 мкм до 300-350 мкм. При дальнейшем увеличении времени выдержки, толщина слоя растет менее интенсивно из-за снижения активности насыщающей среды в результате обеднения ее кремнием. Концентрация диффундирующего элемента на поверхности зависит

от активности окружающей среды, обеспечивающий приток атомов этого элемента к поверхности, скорости диффузионных процессов, приводящих к переходу этих атомов вглубь металла состава обрабатываемого металла, состава и структуры образующихся фаз. Повышение температуры увеличивает скорость процесса диффузии, поэтому толщина диффузионного слоя, образующегося за данный отрезок времени, сильно возрастает с повышением температуры процесса. Результаты фазового состава показали, что слои с содержанием кремния на поверхности состоят из фаз FeSi , FeSi_2 , Fe_3Si и Fe_5Si_3 которая обладает чрезвычайно высокой износостойкостью.

Испытание жаростойкости защитных покрытий.

Легирование слоя высокоуглеродистого материала алюминием и оксидом никеля в условиях СВС приводит к образованию интерметаллидных фаз Ni_3Al , NiAl , Ni_2Al_3 , NiAl_3 , что увеличивает его жаростойкость в 3-4 раза. Данные интерметаллиды обладают высокой твердостью и высокой химической стойкостью к коррозионным средам при повышенных температурах, также имеют более высокую температуру, чем исходные металлы.

Адгезионная прочность защитных покрытий.

Улучшено сцепление покрытия с подложкой, благодаря образованию переходной зоны на основе карбидов титана и хрома. Для достижения высокой адгезии формировали специальные слои, обладающие высоким потенциалом воздействия как с подложкой, так и со слоем. Для формирования таких слоев использовали титан и хром. Суть метода повышения адгезии заключалась в том, чтобы осуществить перемешивание атомов слоя и подложки непосредственно в процессе нанесения покрытий и сформировать переходной слой с градиентом концентраций. При легировании шихты титаном и хромом фазовым анализом на подложках с металлической основой были выявлены и исследованы следующие карбидные фазы: TiC , Cr_{23}C_6 и на материалах с графитовой подложкой образуется дополнительно фаза Cr_7C_3 благодаря большой концентрации углерода в подложке. Установлены закономерности формирования переходной зоны многокомпонентных поверхностных слоев, на основе карбидов титана и хрома, полученных в режиме теплового самовоспламенения и приводящих к увеличению адгезионной прочности в 1,8-2,0 раза.

Коррозионная стойкость защитных покрытий.

С целью повышения коррозионной стойкости защитные покрытия легировали никелем и бором. При осаждении легирующих элементов получают плотные, беспористые, эластичные покрытия, легированные Ni-B, толщиной до 200 мкм, с содержанием бора 1,5 %.

Свойства защитных покрытий, содержащих никель и бор:

1. Устойчивость к коррозии;
2. Повышенная поверхностная твердость;
3. Высокая устойчивость к окислению при повышенных температурах.

В результате установлена зависимость коррозионной стойкости поверхности упрочняемых деталей от содержания кремния, бора и никеля в шихте. Выявлено и экспериментально доказано, что силицирование чугуна, при содержании кремния в шихте в количестве 10 % приводит к увеличению коррозионной стойкости в 3,2-3,5 раз, а добавка дополнительно бора в количе-

стве 15 % в шихту и оксида никеля, в количестве 0,5%, приводит к увеличению коррозионной стойкости чугуна в 3,8-4,2 раза.

Износостойкость защитных покрытий. В ходе проделанной работы видно что наибольшей износостойкостью обладают упрочненные образцы, легированные 14% Cr. В силу того, что хром входит в состав хромистой составляющей, которая отвечает за температурный фактор, то дальнейшее увеличение содержания хрома (при содержании ХС 20%) в данной технологии не представляется возможным. Введение бора в шихту, способствует равномерному распределению мелкодисперсных карбидов по сечению слоя и является активным аустенитизатором. Наружный борированный диффузионный слой представляет собой FeB , а внутренний — Fe_2B . В результате установлена зависимость износостойкости поверхности упрочняемых деталей от содержания хрома в шихте. Выявлено, что благодаря содержанию хрома в шихте в количестве 14 % удалось повысить износостойкость поверхностного слоя в 2,4-2,7 раза.

Физико-механические свойства защитных покрытий. Анализ результатов исследования физико-механических свойств многокомпонентных защитных покрытий высокоуглеродистых материалов, показал, что они отличаются в зависимости от микроструктуры и технологического режима процесса насыщения. Различие в прочности высокоуглеродистых материалов с разными покрытиями объясняется отличиями в структуре, фазовым составом и распределением элементов покрытия. Максимальная микротвердость H_{100} силицированного образца (рис. 1) составила 6500 МПа при содержании кремния в поверхностном слое 13 %. Значительно увеличивается микротвердость поверхностного слоя при содержании в шихте легирующих элементов Cr и Al. Фотографии исследованных образцов предоставлены на рис. 2-5.

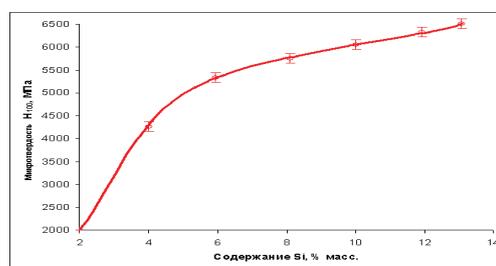


Рис. 1. Зависимость микротвердости силицированного слоя на УУКМ от содержания Si в поверхностном слое

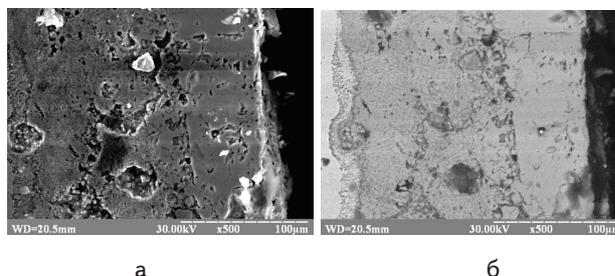


Рис. 2. Фотографии силицированного чугуна марки ВЧ 45-5, полученные на растровом микроскопе РЭМ 106 У, соответственно во вторичных (а) и в отраженных (б) электронах, x500

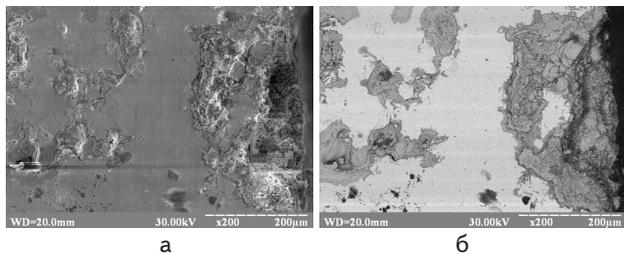


Рис. 3. Фотографии силицированного чугуна марки ВЧ 38-17, полученные на растровом микроскопе РЭМ 106 У, соответственно во вторичных (а) и в отраженных (б) электронах, x200

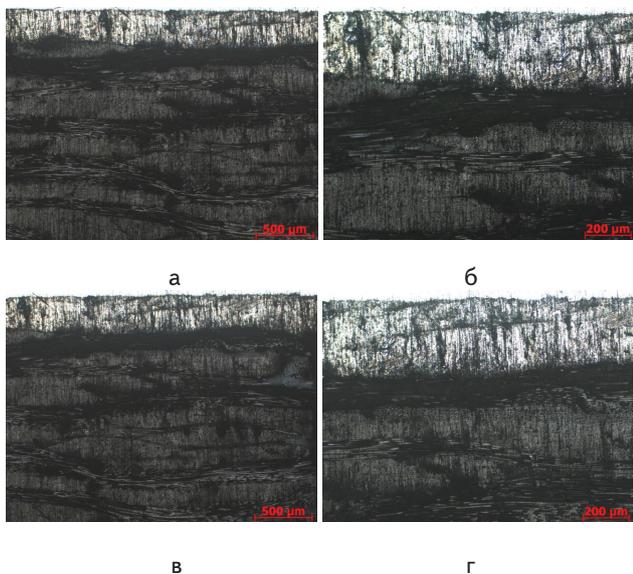


Рис. 4. Микроструктура силицированных покрытий на высокоуглеродистом композиционном материале УУКМ, x 200 (а, в) и x 500 (б, г)

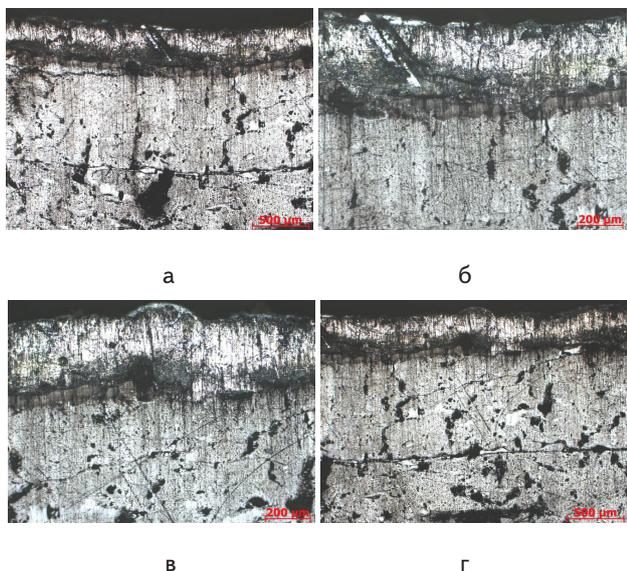


Рис. 5. Микроструктура силицированных покрытий на электроде графитном ЭГ, x 200 (а, в) и x 500 (б, г)

6. Выводы

1. Легирование слоя высокоуглеродистого материала алюминием и оксидом никеля в условиях СВС приводит к образованию интерметаллидных фаз Ni_3Al , $NiAl$, Ni_2Al_3 , $NiAl_3$, что увеличивает его жаростойкость в 3-4 раза.
2. Установлены закономерности формирования переходной зоны многокомпонентных поверхностных слоев, на основе карбидов титана и хрома, полученных в режиме теплового самовоспламенения и приводящих к увеличению адгезионной прочности в 1,8-2,0 раза.
3. Выявлено и экспериментально доказано, что силицирование чугуна, при содержании кремния в шихте в количестве 10 % приводит к увеличению коррозионной стойкости в 3,2-3,5 раз, а добавка дополнительно бора в количестве 15 % в шихту и оксида никеля, в количестве 0,5%, приводит к увеличению коррозионной стойкости чугуна в 3,8-4,2 раза.
4. В результате установлена зависимость износостойкости поверхности упрочняемых деталей от содержания хрома в шихте. Выявлено, что благодаря содержанию хрома в шихте в количестве 14 % удалось повысить износостойкость поверхностного слоя в 2,4-2,7 раза.
5. Максимальная микротвердость H_{100} силицированного образца составила 6500 МПа при содержании кремния в поверхностном слое 13 %. Значительно увеличивается микротвердость поверхностного слоя при содержании в шихте легирующих элементов Cr и Al.

Литература

1. Космос и технологии [Текст] / Ф. Санин [и др.]. Д: АРТ-ПРЕСС, 2007. – 456с.
2. Удовицкий, В. И. Антифрикционное пористое силицирование углеродистых сталей [Текст] / В. И. Удовицкий // М.: "Машиностроение", 1977. – 191с.
3. Ворошнин, Л.Г. Антифрикционные диффузионные покрытия [Текст] / Л. Г.Ворошнин // Минск: Наука и техника, 1981. – 295 с.
4. Мержанов, А. Г. Процессы горения и синтеза материалов [Текст] / А.Г.Мержанов // Черноголовка: ИСМАН, 1998. – 512 с.
5. International Journal of Self-Propagating High-Temperature Synthesis, Alletron Press, Inc. 150, Fifth Avenue, New York, 10011, USA.
6. Scherbakov, V. A. SHS Welding of Refractory Materials. [Текст] / V. A. Scherbakov, A. S. Shteinberg // International Journal of Self-Propagation High-Temperature Synthesis. 1993. - Vol.2. - N4. - P.357-369.
7. Merzhanov, A. G., в кн.: Combustion and plasma synthesis of high-temperature materials [Текст] / A. G. Merzhanov // ed. by Z. Munir, J. Holt, N.Y.. – 1990. - P. 1-53.
8. Krishenik, P. M. Modeling of Combustion Wave Propagation in a Carbon Dust [Текст] / P. M. Krishenik, E. N. Rumanov, K. G. Shkadinskii // Gas Mixture. Combustion and Flame. - 1994. - V.99. - P.713-722.

9. Krishenik, P. M. Stability of Thermal Front with Heat Conductivity Dependent on Temperature [Текст] / P. M. Krishenik, K. G. Shkadinskii // International Journal of Self-Propagating High-Temperature Synthesis. - 2004. V.13. - №4. - P.253-261.
10. Krishenik, P. M. [Текст] / P. M. Krishenik, A. I. Mamedov, S. I. Khudayev, G. V. Shkadinskaja, G. B. Manelis // Mathematical Modeling of Nonadiabatic Combustion in a Stream. 1993. Nato Advanced Study Institute. Unsteady Combustion. - 1993. - P.17.1-17.7.

Розглянуто питання впливу електрофізичної обробки бензину А-92 і авіапалива ТС-1 на формування зносостійкості пар тертя паливних систем. Експериментально встановлені закономірності впливу електромагнітної обробки бензину А-92 і авіапалива ТС-1 на його протизносні властивості, на формування зносостійкості поверхонь тертя, яке базується на особливостях зміни щільності і рівномірності вторинних структур

Ключові слова: надійність, електрофізична обробка, електромагнітне поле, паливо, паливні системи, зносостійкість, протизносні властивості

Рассмотрен вопрос влияния электрофизической обработки бензина А-92 и авиатоплива ТС-1 на формирование износостойкости пар трения топливных систем. Экспериментально установлены закономерности влияния электромагнитной обработки бензина А-92 и авиатоплива ТС-1 на его противоизносные свойства, на формирование износостойкости поверхностей трения, которое базируется на особенностях изменения плотности и равномерности вторичных структур

Ключевые слова: надёжность, электрофизическая обработка, электромагнитное поле, топливо, топливные системы, износостойкость, противоизносные свойства

УДК 667.637.22:629.7.065(045)

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБРАБОТКИ ТОПЛИВ НА ФОРМИРОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПАР ТРЕНИЯ

Е. Л. Матвеева

Кандидат технических наук, доцент*
E-mail: mol@ukr.net

И. Л. Трофимов

Кандидат технических наук, доцент*
E-mail: troffi@ukr.net

М. Н. Свирид

Кандидат технических наук, доцент
Кафедра технологий изготовления и восстановления
авиационной техники**
E-mail: svirid_mn@ukr.net

А. П. Андриевский

Кандидат военных наук
Исследовательский центр
Научно-исследовательский институт военных сил Украины
пр. Воздухофлотский, 6, г. Киев, Украина 03168
E-mail: troffi@ukr.net

К. В. Бзенко

Кафедры химической технологии**
E-mail: katya.misko@mail.ru

*Кафедра экологии

**Национальный авиационный университет
пр. Космонавта Комарова 1, г. Киев, Украина 03058

1. Введение

Исследования, о которых идет речь в статье, относятся к отрасли машиностроения. В связи с резким падением природных ресурсов, повышения эксплуатационных свойств смазочных сред (СС) становится актуальной научно-технической проблемой. Поэтому вопрос относительно повышения эксплуатационных свойств рабочих жидкостей, в частности путём воздействия электромагнитным полем (ЭМП), является одним из составляющих при рассмотрении приори-

тетных направлений обеспечения надежности работы моторной техники и узлов трения.

2. Постановка проблемы. Цель и задачи исследования

Современная техника оснащена сложными гидросистемами, исполняющими важные функции в работе управления летательными аппаратами и наземной техники. Надежность топливных и гидравлических агрегатов в значительной степени зависит от работоспособности прецизионных пар трения. В результате