

Міністерство освіти і науки України
Чорноморський національний університет імені Петра Могили



**ОЛЬВІЙСЬКИЙ ФОРУМ – 2017:
стратегії країн Причорноморського регіону
в геополітичному просторі**

**XI Міжнародна науково-практична конференція
8–11 червня 2017 р., м. Миколаїв**

ТЕЗИ

Трибологія

Миколаїв
2017

Ольвійський форум – 2017 : стратегії країн Причорно-морського регіону в геополітичному просторі : XI міжнар. наук.-практ. конф. 8–11 черв. 2017 р., м. Миколаїв : тези доп. Трибологія / Чорном. нац. ун-т ім. Петра Могили. – Миколаїв : Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили, 2017. – 44 с.

Секція Трибологія

УДК 621.746.62:001.1(075.8)

Клименко Л. П.,
д-р техн. наук, професор,
Дихта Л. М.,
д-р техн. наук, професор,
Андрєєв В. І.,
канд. техн. наук, доцент,
ЧНУ ім. Петра Могили, м. Миколаїв, Україна

КОМП'ЮТЕРНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ ЛИТТІ В МЕТАЛЕВИЙ КОКІЛЬ КОРОТКОЇ ТОВСТОСТІННОЇ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ОБОЛОНКИ

Лиття в кокінь є одним із спеціалізованих видів лиття, який окрім добре відомих переваг (підвищення коефіцієнта використання металу, зниження бракеражу та собівартості виливків при одночасному зростанні їх якості, підвищення продуктивності праці за рахунок механізації та автоматизації виробничих процесів тощо) надає можливість оптимального вибору параметрів процесу лиття, завдяки проведенню попередніх розрахунків на основі заздалегідь розроблених математичних моделей при залученні сучасної обчислювальної техніки. У нашій роботі (див. *Л. П. Клименко, Л. М. Дихта, В. І. Андрєєв. Математичне моделювання теплових процесів при литті в металевий кокінь короткого порожнинного циліндричного вилівка. Всеукраїнський научно-технич. журнал «Двигатели внутреннего сгорания». – Харьков : НТУ «ХПИ» – 1'2015. – С. 57–62*), як це слідує з її назви, здійснено створення відповідної математичної моделі теплових процесів при литті в металевий кокінь, яка є основою для подальшого опрацювання в напрямку розробки алгоритму та робочих програм для проведення розрахунків за допомогою ЕОМ усіх параметрів, що представляють практичний інтерес.

У згаданій математичній моделі і виливок, і кокінь розглядаються як складові елементи єдиної нестационарної термодинамічної системи, що взаємодіє з навколишнім середовищем, для якої заданими є параметри: масогеометричні (густина матеріалу кокілю і виливка, їх форма, розміри, конфігурація), теплофізичні (коефіцієнти теплоємності та теплопровідності матеріалу, коефіцієнти тепловіддачі на внутрішній поверхні виливка і на зовнішній поверхні кокілю), температурні (питома теплота та температура кристалізації розплаву, температура

усередині виливка і ззовні кокілю і їх початкова температура при миттєвому заповненні кокілю розплавом), теплоізоляційні (товщина та теплопровідність ізоляційної фарби, що запобігає безпосередній контакт виливка і кокілю). При цьому як спрощуючі використовуються наступні припущення: 1) справедливою є концепція калориметричної температури, яка надає можливість описати температурні поля виливка і кокілю незалежно одне від одного; 2) оскільки виготовлення виливка здійснюється на ротативній установці методом відцентрового лиття в кокіль, то має місце осесиметричний випадок температурних полів виливка і кокілю; 3) використана конструкція кокілю є така, яка допускає існування перпендикулярної до осі обертання площини симетрії, що ділить навпіл і вилівок, і кокіль; 4) матеріалом виливка є чистий метал, що забезпечує при його кристалізації як наявність поверхонь розділу рідкого ядра і твердої фази, так і можливість подальшого узагальнення моделі шляхом використання методу еквівалентного виливка.

Розглядуваний підхід до створення математичної моделі перебігу теплових процесів надав можливість математичної формалізації різних стадій технології виготовлення виливка як відповідних крайових задач теорії теплопровідності: задача Коші про зняття перегріву розплаву; крайові задачі про кристалізацію розплаву та охолодження в кокілі затверділого виливка; крайова задача про нагрівання кокілю протягом перебування виливка в кокілі та крайова задача про охолодження кокілю після видалення виливка.

Метою даного дослідження є створення програмного забезпечення (ПЗ), яке передбачає реалізацію вище описаної математичної моделі теплових процесів, що супроводжують виготовлення циліндричного порожнинного виливка при литті в металевий кокіль, у вигляді робочих програм для ЕОМ та проведення систематичних розрахунків усіх тих параметрів, які характеризують як особливості технологічного процесу, так і властивості та якості самого виробу. Як прийнято у подібних випадках, для надання отриманим числовим результатам більшої загальності здійснено перехід до безрозмірних як функціональних параметрів (температурні показники), так і незалежних змінних (час та просторові координати).

Слід зазначити, що при створенні ПЗ виникла потреба у розв'язку деяких нетривіальних специфічних задач обчислювального характеру таких, як, наприклад, пошук обернених функцій заданих нелінійних залежностей чи визначення послідовностей власних чисел задач Штурма – Ліувілля як коренів трансцендентних рівнянь, які в силу специфіки симетрії відповідних крайових задач містять функції Бесселя та Вебера нульового і першого порядків різних аргументів, пов'язаних з граничними умовами.

Аналіз числових результатів, отриманих при використанні запропонованого ПЗ, надає змогу пересвідчитись, що у межах прийнятих в таких випадках припущень розрахункові результати не суперечить даним, відомим і на сьогодні доступним у спеціальній літературі. Звідси випливає, що дане ПЗ може бути рекомендованим до використання при розв'язанню різного роду задач як теоретичного плану, так і виробничого характеру.

УДК 621

Клименко Л. П.,

д-р техн. наук, професор,

Прищепов О. Ф.,

канд. техн. наук, доцент,

Андреев В. И.,

канд. техн. наук, доцент,

ЧНУ ім. Петра Могили, г. Николаев, Україна

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ СЕРОГО И ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНОВ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ВАКУУМНОГО ВСАСЫВАНИЯ

В связи с тем, что в узлах машин и механизмов чугуны являются наиболее распространенным материалом, работающим на износ, в данной работе уделено особое внимание исследованию влияния способа литья вакуумным всасыванием на износостойкость отливок из чугунов СЧ 20 и ВЧ 50–1,5.

Из сопоставления проведенных испытаний образцов на машине трения СМЦ-2 износостойкость чугуна СЧ 20, полученного методом вакуумного всасывания на 15 % выше чем чугуна, отлитого обычным способом. Износ контртела, работающего в паре с чугуном, полученным вакуумным всасыванием, мало отличается от износа, работающего в паре с чугуном, полученным обычным способом литья. Изменение зазора в трущейся паре показывает, что меньше изнашивается пара, в которой чугун получен методом вакуумного всасывания.

Износостойкость образцов из чугуна ВЧ 50–1,5, полученного вакуумным всасыванием в формы по выплавляемым моделям, выше на 30 % износостойкости чугуна, полученного обычным способом в такие

же форми. Изменение зазора в трущейся паре (контртело из стали 40X с хромированной поверхностью) также меньше у пары, в которой чугун получен вакуумным всасыванием.

Износостойкость чугуна ВЧ 50–1,5, отлитого в песчано-глинистые формы вакуумным всасыванием на 20 % выше износостойкости чугуна, полученного обычным способом литья. Изменение зазора в трущейся паре показывает, что меньше изнашивается пара, в которой чугун получен методом вакуумного всасывания.

Указанное выше улучшение износостойкости объясняется структурными изменениями чугунов СЧ 20 и ВЧ 50–1,5, отлитых вакуумным всасыванием, а именно: измельчением графитовых включений, равномерным их расположением, благоприятной формой пластинчатого графита, уменьшением количества феррита в структуре чугунов.

УДК 621.891

Кіндрачук М. В.,

д-р техн. наук, професор,

Мнацаканов Р. Г.,

д-р техн. наук, професор,

Гуменюк І. А.,

здобувач,

НАУ, Україна

ЗНОСОСТІЙКІСТЬ ЕВТЕКТИЧНИХ ПЛАЗМОВИХ ПОКРИТТІВ НА СТАЛІ 12Х 18Н10Т, ОБРОБЛЕНИХ ЛАЗЕРНИМ ВИПРОМІНЕННЯМ

Сьогодні широко використовуються технології нанесення функціональних покриттів, призначених для підвищення експлуатаційних характеристик виробів при одночасному зниженні собівартості їх виробництва. Найбільш продуктивною є технологія плазмового напилення порошкових матеріалів. Вона добре вивчена, дозволяє при достатньо високій продуктивності значно збільшити ресурс роботи деталей, які працюють в умовах тертя. Недоліками таких покриттів є невисока міцність їх зчеплення з основою, яка не перевищує 20 МПа. До того ж, такі покриття практично неможливо використовувати при дії знакозмінних навантажень.

При лазерному опромінюванні в різних металевих сплавах, в поверхневих шарах спостерігається перерозподіл легуючих елементів, який має аномальний характер, тобто відбувається з набагато більшими швидкостями. Таке явище має місце не тільки, коли сплави під дією лазерного випромінювання знаходяться в рідкому стані, але і у твердій фазі. Тому важливим є пошук умов лазерного опромінювання плазмових покриттів, які б обумовили виникнення на межі «покриття-основа» таких процесів масоперенесення, що сприяло б значному покращенню їх експлуатаційних характеристик і розширило межі їх застосування в різних галузях промисловості.

Метою даного дослідження є з'ясування основних закономірностей процесів масоперенесення в перехідній зоні між плазмовим покриттям і основою при різних умовах опромінення, що забезпечують протікання фазових перетворень як в рідкому, так і в твердому стані, вибір найбільш ефективних параметрів лазерної обробки.

Мікроструктура плазмового покриття, оплавленого лазерним опроміненням, має стовпчасто-дендритну будову. Порівнюючи з вихідною мікроструктурою можна відзначити те, що метал під час лазерної обробки перебував у рідкому стані. Під впливом великої швидкості кристалізації утворились дендрити, головні вісі яких розташовані паралельно напрямку тепловідведення. Поблизу самої поверхні напрямок тепловідведення носить менш виражений характер. В мікроструктурі відсутня стовпчаста будова, що свідчить про надзвичайно високі швидкості охолодження. Подібну і структуру було отримано шляхом подвійного оплавлення при обробці з більшою швидкістю пересування (понад 1 м/хв). За таких умов опромінення в покритті утворилась мікрокристалічна структура, яка погано виявляється при хімічній обробці і має мікротвердість до 11000–12000 МПа. Характерною рисою оплавлених покриттів є зниження їх мікротвердості в порівнянні з вихідною після напилення. Причиною цього є реалізація в оплавлених покриттях переважно композиційного механізму зміцнення на відміну від дисперсійного в плазмовому.

Вивчення особливостей, оплавленого покриття на сталі 12X18H10T показало відсутність мікротріщин і наявність чіткої границі розділу – «покриття-основа». При дослідженні її мікроструктури була виявлена сіра зона товщиною 1,5–2 мкм, що примикає до границі розділу з боку матриці.

Отримані дані свідчать про те, що при певних умовах лазерним опроміненням на режимах, які не викликають оплавлення покриття,

можна ініціювати на межі «основа-підкладка» досить суттєве масоперенесення із покриття в основу і навпаки, що безумовно буде сприяти підвищенню міцності їх зчеплення і покращенню триботехнічних властивостей.

В зв'язку з вищевикладеним, було проведено спеціальне дослідження нержавіючої сталі 12Х18Н10Т. Плазмовим способом наносилось покриття системи V – Ti – Ni, яке потім оброблялось випромінюванням CO₂ лазера. При цьому процес лазерного нагрівання чергувався з процесом автоохолодження. Термоциклічна обробка (ТЦО) проводилась в діапазоні температур 1000 ↔ 600 °С, що охоплюють температури фазових перетворень.

Мікротвердість евтектичних областей знижується тільки після чотирьох термоциклів з 9750 МПа до 8740 МПа. Зниження мікротвердості викликано розпадом металевої матриці. Для білих шарів характерним є постійне зниження мікротвердості зі збільшенням кількості термоциклів з 13400 МПа до 9100 МПа (4 термоцикли). При цьому, після шести циклів твердість білих шарів і евтектичних областей стають приблизно рівними. Подальше збільшення кількості обробок призводить до зменшення мікротвердості білих шарів в порівнянні з евтектичними складовими.

На основі триманих результатів випробувань зроблені висновки:

1. При лазерному оплавленні плазмового покриття в результаті взаємодії розплаву і твердої підкладки відбувається масоперенесення ванадію і бору, в меншій мірі титана і хрому в основу, розчинення заліза основи розплавом покриття. Покриття стає практично безпористим, міцність зчеплення підвищується до 400–450 МПа.

2. Показано, що при лазерній термоциклічній обробці відбувається масоперенесення легуючих елементів із основи в покриття і в деякій мірі навпаки, спостерігається розпад білих шарів і пересичених твердих розчинів.

3. Встановлено, що термоциклічною обробкою в діапазоні температур, що охоплюють фазові перетворення можна підвищувати міцність зчеплення плазмових покриттів з 15–20 МПа до 90–120 МПа.

4. Дослідження триботехнічних властивостей показує, що лазерне термоциклування істотно підвищує зносостійкість плазмових покриттів, знижує їх крихкість і підвищує пластичність структурних складових.

Андрущенко М. И.,
канд. техн. наук, доцент,
Осипов М. Ю.,
канд. техн. наук, доцент,
Куликовский Р. А.,
канд. техн. наук, доцент,
Капустян А. Е.,
старший преподаватель,
ЗНГУ, г. Запорожье, Украина

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНАШИВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ АБРАЗИВНЫХ МАСС

Одним из основных условий обоснованного выбора материалов, структурного состояния и способов управления структурой рабочих поверхностей деталей, работающих в условиях абразивного изнашивания, является достаточно полная информация об основных параметрах их эксплуатации. Наиболее значимые из них – твёрдость и прочность абразивных зерен. Поэтому изучение свойств абразивных частиц, влияющих на интенсивность поверхностного разрушения деталей, является актуальным.

Цель данной работы – исследование трибологических свойств зерен шамота, муллита, электрокорунда, карборунда и их влияния на способность сталей с метастабильными и стабильными структурами к самоупрочнению поверхности трения и на интенсивность поверхностного разрушения в условиях абразивного изнашивания.

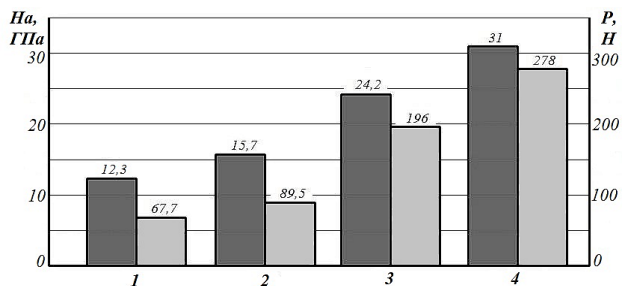
В качестве исследуемых материалов, на которых оценивалась изнашивающая способность абразивов, использовались стали 20Х и 20Х13 после химико-термической обработки и сталь 140Х12Ф после закалки. Структура изменялась от мартенситной до преимущественно аустенитной при наличии карбидов $(CrFe)_7C_3$. Определяли микротвердость и прочность на разрушение абразивных зерен, интенсивность изнашивания материалов и степень упрочнения поверхности трения.

Исследования показали (рис. 1), что при переходе от шамота к карборунду микротвердость зерен возрастает с в 2,5 раза, а величины разрушающей нагрузки – в 4,5 раза.

В процессе испытаний на износостойкость было установлено, что микротвердость поверхности трения всех материалов возрастает с 5–6 ГПа до 12–12,5 ГПа. Это оказывает заметное положительное влияние на износостойкость при изнашивании сравнительно «мягкими»

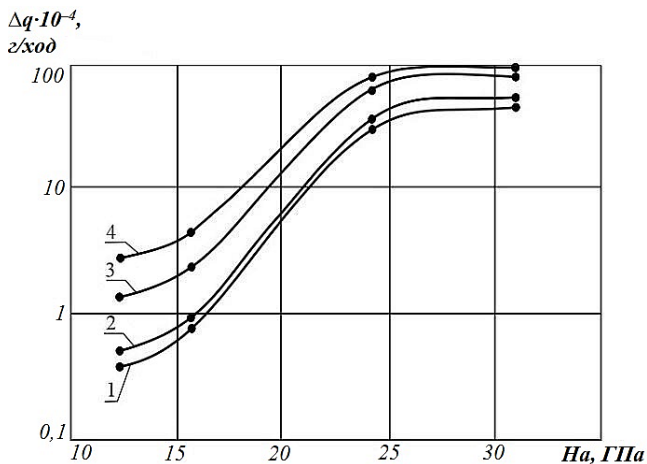
абразивными материалами (шамот, муллит), но практически не имеет значения при изнашивании электрокорундом и карборундом, поскольку при этом отношение твердости абразива к твердости поверхности трения материала ($H_a/H_{нм} = 2,0 - 2,5$) остается намного выше критического.

В целом интенсивность изнашивания Δq (рис. 2) всех материалов при увеличении твердости абразива с 12,3 ГПа до 31 ГПа и разрушающей нагрузки с 67,7 Н до 278 Н увеличивается от 35 до 125 раз в зависимости от типа изнашиваемого материала и структуры.



1 – шамот; 2 – муллит; 3 – электрокорунд; 4 – карборунд

Рис. 1. Микротвердость H_a и разрушающая нагрузка P абразивных зерен



1 – 20X13; 2 – 140X12Ф; 3 – 20X (аустенит); 4 – 20X (мартенсит)

Рис. 2. Изменение интенсивности изнашивания материалов в зависимости от твердости абразивов

Таким образом, применение даже высоколегированных сталей с метастабильными структурами, включающими большое количество карбидов хрома, для деталей, работающих в контакте с абразивами высокой твердости, не рационально. По-видимому, в таких случаях решение вопроса повышения износостойкости возможно за счет применения твердых спеченных сплавов или карбидосталей с большим количеством карбидов титана, или других высокотвёрдых материалов. Однако такой подход требует дальнейших исследований.

УДК 621.891

Кубич В. И.,

канд. техн. наук, доцент,
ЗНТУ, г. Запорожье, Украина

СОСТОЯНИЕ ПОТОКА МОТОРНОГО МАСЛА В ПОДШИПНИКЕ СКОЛЬЖЕНИЯ

Динамика процесса поступления компонентов смазочного материала в зоны контактного взаимодействия элементов топографий поверхностей и их движение с учетом формирующихся свойств тончайших упруго-деформируемых защитных пленок предопределяет уровень предрасположенности трибосопряжения к проявлению в нем режима смазочного голодания при трении. Возникновение такого режима возможно в подшипниках скольжения коленчатого, распределительного вала, вала турбокомпрессора ДВС.

Для оценки срыва потока смазочного материала в подшипниках скольжения ДВС предлагается использовать подход, учитывающий связь гидродинамических параметров прокачиваемой смазочно-охлаждающей жидкости (давления p_1 и скорости v набегающего потока жидкости во входной камере подшипникового узла) с нагрузочно-скоростными параметрами подшипника (F_n, n), оказывающими влияние на давление насыщенных паров p_s (Силаев Б. М. *Трибология деталей машин в маловязких смазочных средах* / Б. М. Силаев. – Самара : Изд-во Самар. гос. аэрокосмич. ун-та, 2008. – 264 с.). При этом акцентируется внимание на нарушениях в сплошности потока смазочного материала, а значит и на характере возобновления смазочного эффекта.

Состояние зон контакта поверхностей при режиме смазочного (пленочного) голодания обусловлено: разрушением трибологических структур вторичных смазочных образований (углерод, кислород, водород) из компонентов моторного масла на фоне преодоления в них сил

упругости и распаковки молекул тонких пленок; достижением предела значимости проявления вязкосных характеристик при критических мгновенных температурах (Кубич В. И. *Термодинамический аспект пленочного голодания в трибосопряжениях* / В. И. Кубич, В. М. Юров // *Проблемы тертя та зношування* № 70. – 2016. – С. 58–66). Обозначенные процессы сопровождаются изменением состояния потока смазочного материала (ламинарное, турбулентное) в микро-зонах смены режимов смазки. Расчетная оценка численного значения критерия Рейнольдса определяет возможность проявления временного эффекта турбулизации потока моторного масла в зависимости от скорости сближения поверхностей $\Delta t_{\text{проб}}=f(v_{\text{сб}})$, обусловленного влиянием трех независимых параметров: вязкость смазочного материала $\mu_{\text{эф}}=f(T)$; частота вращения вала n ; зазор в сопряжении $s=f(t_s)$, изменяемый в процессе эксплуатации по мере израсходования ресурса. Для решения обозначенной задачи применим метод факторного эксперимента в теоретической части исследования.

Необходимое давление моторного масла во входной камере подшипника скольжения может быть воспроизведено и оценено в соответствии с уравнением непрерывности потока и методикой расчета его расхода через торцы. Это необходимо для обеспечения значимого количества моторного масла в зазоре, обуславливающего гидродинамический эффект. При этом определяемым фактором влияния представляется закономерность изменения производительности масляного насоса $V_{\text{м.н}}=f(n_{\text{м.н}})$ с учетом изменения нагрузочно-скоростного режима работы подшипникового узла. Решение обозначенной задачи возможно с использованием физической модели подшипника скольжения коленчатого вала ДВС и насосной установки для машины трения СМЦ-2, а также классической методики расчета подшипника скольжения. При этом необходимо установить связь между прокачкой (осевой расход моторного масла) через подшипник (осевой расход пропорционален давлению на входе в полость подшипника скольжения) и производительностью масляного насоса при смене частоты вращения коленчатого вала двигателя. В данном случае речь должна идти об остаточной прокачке (насколько ее будет достаточно) после смены значений давления на входе в подшипник. Открытым остается вопрос оценки количества масла, поступающего с определенной скоростью v в полости подшипника, в которых имеет место эксплуатационная пульсация остаточного рабочего давления (Глемба К. В. *Диагностирование коленных и шатунных подшипников кривошипно-шатунного механизма* / К. В. Глемба, А. В. Гриценко, О. Н. Ларин // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение»*. – 2014. – Т. 14, № 1. – С. 63–71).

Обозначенные аспекты представляются основой как для оценки возможности срыва потока моторного масла, так и для разработки обеспечения управляемой корректировки его количества и эксплуатационного состояния, поступающего в зону трения для поддержания условий смазывания. Корректировка может выполняться мехатронным модулем управления, например: давлением на входе в подшипник скольжения путем изменения геометрических параметров проходных сечений масляной магистрали; вязкостно-температурным состоянием моторного масла путем подключения дополнительного контура, в магистраль основного питания охлажденным моторным маслом; управлением количества моторного масла, подаваемого из гидравлического аккумулятора дополнительно в зону трения.

УДК 681.11.035.2 (043.2)

Тарабрін О. І.,

канд. техн. наук, доцент,

Щербак Ю. Г.,

канд. техн. наук, доцент,

ЧНУ ім. Петра Могили, м. Миколаїв, Україна

СХЕМНЕ РІШЕННЯ ГІДРОДИНАМІЧНОЇ ОПОРИ КОЧЕННЯ З ПРУЖНО-ДЕМПФІРУВАЛЬНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ

З метою підвищення надійності та довговічності опор ковзання для швидкохідних роторів турбомашин і електродвигунів запропоновано схеми їх пружної установки на піддатливих пружно-демпфірувальних елементах. Це в першу чергу стосується радіальних опор за нестабільних умов їх експлуатації, значних радіальних навантажень, у тому числі й ударно-імпульсних, а також опор, які одночасно з радіальними сприймають двосторонні осьові навантаження. В якості піддатливих пружно-демпфірувальних елементів використовуються проставки у вигляді кілець (або гнучкої стрічки) з ворсом із смуг дроту, одним кінцем закріплених на згаданій проставці. Проставки розташовуються в корпусі опори або на валу механізму; при цьому схил відрізків дроту відповідає напрямку обертання вала (наприклад, див. А.с. № 1636608 А1 (СССР). Радіальний подшипник скольжения / А. И. Тарабрин, А. К. Чередниченко. – Заявл. 12.01.89; опубл. 23.03.91. Бюл. № 11. F 16

С 17/02). Слід зазначити, що недоліками наведеної конструкції опори ковзання можуть бути її обмежена демпфірувальна здатність та низька надійність і довговічність в умовах значних дисбалансів роторних систем механізмів та ударно-імпульсних навантажень, тому її слід сприймати в якості базового варіанту з можливістю подальшого удосконалення.

На рис. 1 зображена конструктивна схема радіальної опори ковзання, що містить два пружно-демпфірувальних елемента. Радіальна опора ковзання складається із корпусу 1 з каналами 16 і 7 відповідно підведення та відведення мастила. В корпусі опори розміщено нерухому корпусну 2 та обертову 3 втулки. Корпусну втулку 2 виконано із зовнішньою кільцевою проточкою для установаження пружного елемента, а також внутрішньою кільцевою проточкою – для розподілу мастила в робочий зазор 13 опори. Обертова втулка 3 має внутрішню кільцеву проточку також для установаження пружного елемента. В зовнішній кільцевій проточці корпусної втулки 2 закріплено пружний елемент у вигляді основи 15, на яку нанесено пружний ворс із смуг металевого дроту 14. Аналогічно у внутрішній кільцевій проточці обертової втулки 3 також закріплено пружний елемент, що складається із основи 12 та пружного ворсу із смуг металевого дроту 11. Корпусна втулка 2 разом із своїм пружним елементом (основаю 15 і пружним дротовим ворсом 14) фіксується від прокручування за допомогою болтів 19. Запобігання прокручування обертової втулки 3 з відповідним пружним елементом (основаю 12 і пружним дротовим ворсом 11) відносно шийки 4 вала механізму здійснюється штифтами 8. Для заповнення мастилом порожнин із дротовим ворсом, а також його підведення в робочий зазор підшипника в конструкції передбачено осьовий канал 17, корпусну проточку 18, а також зазори між фіксаторами 19 та 8 і відповідними отворами у корпусній 2 і обертовій 3 втулках, в які фіксатори заведено. Відпрацьоване мастило збирається в порожнинах 5 та 9, що утворені між торцевими поверхнями втулок 2 і 3 та кришками опори 6 і 10. Між зовнішньою поверхнею корпусної втулки 2 і внутрішньою поверхнею корпусу 1 опори, а також внутрішньою поверхнею втулки 3 та шийкою 4 вала механізму (відповідні циліндричні ділянки на кінцях втулок) витримуються певні зазори в межах амплітуд можливих радіальних коливань вала.

При обертанні вала механізму в робочому зазорі 13 опори утворюється мастильний клин, що забезпечує знаходження вала у зваженому стані. За наявності дисбалансу вала механізму та ударно-імпульсних навантажень може з'явитися вібрація вала. Вона сприймається певними ділянками дротового ворсу пружних елементів корпус-

ної 2 та обертової 3 втулок. За рахунок демпфірувальної здатності пружних елементів здійснюється розсіювання у просторі енергії коливального руху і швидке затухання коливань. В значній мірі цьому сприяє мастило, що постійно знаходиться в порожнинах, заповнених дрововим ворсом.

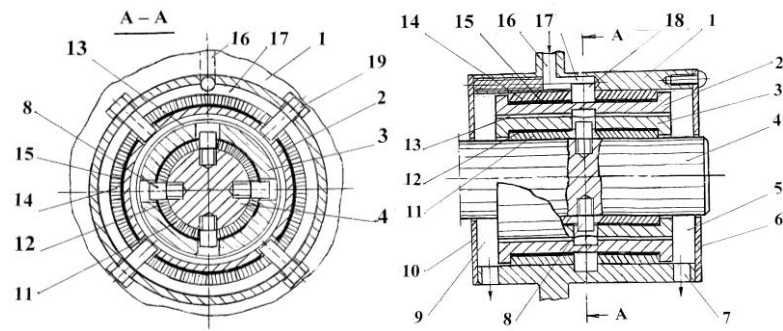


Рис. 1. Конструктивна схема радіальної опори кочення

Таким чином, запропоновані конструктивні заходи сприяють підвищенню надійності та довговічності радіальних гідродинамічних опор ковзання, особливо в умовах суттєвих дисбалансів роторних систем механізмів та значних ударно-імпульсних навантажень.

УДК 681

Андрєєв В. І.,
канд. техн. наук, доцент,
Случак О. І.,
аспірант,
ЧНУ ім. Петра Могили, м. Миколаїв, Україна

СПОСІБ МОДИФІКАЦІЇ ПОВЕРХНІ ТЕРТЯ МЕТАЛІЧНОЇ ДЕТАЛІ ДВЗ ШЛЯХОМ НАНЕСЕННЯ ПОКРИТТЯ ТІ-ТІО₂

В 2014–2018 роках в ЧДУ імені Петра Могили проводяться дослідження в рамках проекту «Структурування та технології інженерії поверхневих високоміцних структур з перемінною зносостійкістю». В рамках даної тематики було розроблено метод удосконалення структури металу поверхонь тертя деталей ДВЗ за рахунок впливу феррити-

зуючих властивостей титанової губки при спіканні обробленої поверхні деталі з покриттям комплексу $\alpha\text{Ti-TiO}_2$, що виражається в формуванні більшої кількості центрів кристалізації при рекристалізації металу через подрібнення перлітних зерен.

Актуальність. Питання структурної модифікації металічної поверхні тертя в ході ремонту зношеної деталі є актуальним для сучасної науки, адже практичні випробування таких технологій показали що ремонт, зазвичай продовжує термін експлуатації деталі на строк більший, ніж вона працювала до зносу, адже відновлена поверхня набуває додаткових властивостей. Найбільш поширеними методами такого типу є різні типи покриттів, що заповнюють мікро нерівності і захищають зношену поверхню та відновлення самої поверхні через наплавлювання, механічну обробку або нарощування. Остання група методів зазвичай включає певну модифікацію відновленої поверхні через легування, закалку і т. п. Саме поєднання такого методу відновлення у вигляді нарощування з вказаним вище захистом поверхні за рахунок покриття і структурною модифікацією в ході самого відновлення розглядається в даному дослідженні.

Об'єктом даного дослідження є модифікація поверхневої структури чавунних деталей.

Предметом визначено інженерію поверхні деталі ДВЗ шляхом нанесення покриття-ферритизатора перед термічною обробкою для нарощування.

Метою даного дослідження є розробка та вдосконалення патентно-спроможного методу модифікації поверхні зношеної чавунної гільзи ДВЗ (сірий чавун СЧ20)

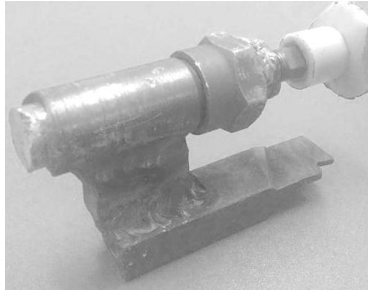
В ході досліджень поставлено ряд **завдань**, що забезпечать системне охоплення досліджуваного питання.

1) Визначити основні недоліки відновлення зношених поверхонь шляхом нарощування та теоретично обґрунтувати процес структурних перетворень поверхні деталі в ході її рекристалізації.

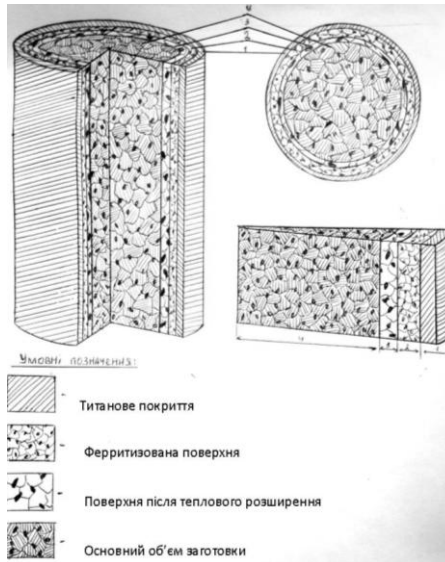
2) Вдосконалити процес нарощування за рахунок розробки методу структурної модифікації поверхні, що включає операцію нанесення покриття-ферритизатора та спікання для одночасного нарощування та укріплення зв'язку покриття-поверхня.

Запропоновано спосіб модифікації поверхні металу, що включає два етапи:

1) Механічна трибомодифікація поверхні за рахунок натирання порошковою титановою губкою у вигляді спресованого пористого матеріалу (рис. 1).



2) Спикання обробленої деталі в муфельній печі при температурі 800 °С, протягом якої відбувається рекристалізація поверхневого шару і подрібнення перлітних зерен під впливом ферритизуючих властивостей покриття (рис. 2).

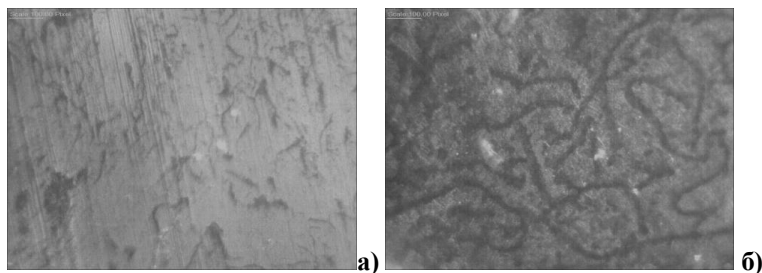


Метод відновлення зношеної поверхні чавунної деталі за рахунок рекристалізації металу та зростання його об'єму з заповненням нерівностей без втрати міцності розроблявся в рамках досліджень процесу нарощування чавуну в циліндричних деталях.

Нарощування чавуну – необоротне збільшення обсягу чавунних деталей при нагріванні до високих температур, і особливо при повторних нагріву і охолодженні і є наслідком процесів розпушення чавуну через його окислення, виділення графіту і газів з твердого розчину.

Зростання відбувається внаслідок міжкристалічного окислення металу на межі зерен і включень графіту. Оскільки обсяг утворюються окислів більше обсягу окисленого металу, відбувається деформація виробу (спучування). Сірий чавун більш схильний до зростання, ніж інші чавуни. Зростання об'єму відбувається не тільки за рахунок окислення, але і за рахунок графітизації: при тривалому впливі на чавунну вилівок високої температури відбувається розпад карбіду заліза Fe_3C на складові – ферит і графіт, які виділяються в структурно вільному вигляді. Так як карбід заліза має питому вагу 7,82, залізо 7,85 і графіт 1,8, то розпад карбіду супроводжується зміною (збільшенням) обсягу деталі. Вирізняється в результаті розпаду карбіду графіт частково нагромаджується в місцях розпаду, частково проникає шляхом дифузії до поверхонь наявних в чавуні первинних графітових включень і відкладається на них. Таким чином, розпад карбіду супроводжується збільшенням в чавуні кількості і розмірів графітових включень. Структура чавуну при цьому розпушується. Зростання об'єму чавуну може дійти до 30 % початкового об'єму, але зазвичай він не перевищує 3 %. Зрозуміло, що механічні властивості чавуну в результаті процесу зростання знижуються.

На рис. 3 представлені фото мікроструктур чавуну до а) та після б) термічного впливу.



Суть удосконалення даної технології полягає в тому, що нанесене механічним методом за рахунок тертя спресованого порошку титанової губки об поверхню металічної деталі покриття, під дією високої температури в $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ в процесі спікання впливає на хід рекристалізації чавуну, провокуючи подрібнення перлітної структури, а відповідно і підвищення міцності поверхневого шару металу в зоні контакту з покриттям. Відповідно, відбувається компенсація укрупнення графітних зерен в поверхневій зоні контакту з нанесеним покриттям на основі титанової губки. Оксид титану – ферритизатор, що сприяє подрібненню перлітних зерен за рахунок утворення більшої кількості центрів кристалізації при рекристалізації поверхневого шару металу. Таким

чином вирішується проблема спучування металу в поверхневій зоні, ріст графітних включень в проміжному шарі відбувається «всередину» основного об'єму, а тому деформація внаслідок структурних змін впливає лише на заповнення тріщин та інших нерівностей на робочій поверхні, що витісняє частки нанесеного покриття $Ti-TiO_2$, не впливаючи на форму заготовки і вимагаючи мінімальної механічної обробки після спікання.

Висновки. Впровадження даної методики дозволить проводити якісне поверхнєве відновлення трибонавантажених деталей ДВЗ з їх одночасною модифікацією. При цьому суттєвою перевагою є збереження початкових властивостей металу з виключенням явища укрупнення перлітних зерен при рекристалізації за рахунок їх подрібнення під впливом ферритизуючих властивостей матеріалу покриття.

Розроблений метод може бути впроваджений в галузі ремонту та відновлення зношених деталей, а також при виробництві деталей з підвищеною зносостійкістю.

Розробка може становити інтерес як дешевий метод відновлення та модифікації поверхонь зношених у результаті тертя поверхонь деталей гільз ДВЗ та інших високо навантажених поверхонь тертя. Перспективною є можливість використання даної методики відновлення та модифікації поверхонь для специфічних умов потужних імпульсних навантажень в агресивних умовах, а також таких же навантажень розтягнутих у часі.

УДК 681

Андрєєв В. І.,
канд. техн. наук, доцент,
Случак О. І.,
молодший фахівець НДЧ,
Случак О. І.,
аспірант,
ЧНУ ім. Петра Могили, м. Миколаїв, Україна

СПОСІБ АРМУВАННЯ ПОРИСТИХ ТИТАНОВИХ КОМПОЗИТІВ МЕТАЛЕВИМИ ВОЛОКНАМИ СТАЛЕВОГО ТРОСУ

Протягом останніх років в ЧНУ ім. Петра Могили проводились дослідження з розробки та модифікації пористих композитних матеріалів на основі титанової губки виготовлених методами порошкової металу-

ргії за чотирма напрямками: стійкість до термічних навантажень, фільтрувальні властивості, зносостійкість, механічна стійкість.

Актуальність. Проблема механічної стійкості порошкових композитів і особливо метало керамічних та керамічних матеріалів є актуальною, адже їх впровадження в машинобудуванні особливо у вигляді дрібних елементів в зонах підвищених термічних та механічних навантажень відбувається досить активно.

Об'єктом даного дослідження є композитні матеріали на основі титанової губки.

Предметом визначено особливості структуроутворення ударостійких рутілових композитів шляхом армування.

Метою даного дослідження є розробка методу армування пористих композитних матеріалів на основі титанової губки за рахунок формування стійких до навантажень структур через розміщення в об'ємі матеріалу металевого тросу, навитого відповідно до визначеного очікуваними навантаженнями напрямку навивки.

В ході досліджень поставлено ряд **завдань**, що забезпечать системне охоплення досліджуваного питання.

1) Визначення основної проблеми експлуатації розроблених порошкових композитів в зонах підвищених механічних навантажень.

2) Обґрунтування проблеми ударостійкості композитних елементів в рухомих деталях механізмів.

3) Розробка найбільш ефективних схем армування розроблених порошкових композитів для підвищення їх ударостійкості.

Найбільш ефективними з точки зору механічної стійкості можна вважати розроблені нами матеріали у вигляді пористих метало керамічних композитів та армованих брикетами з титанової губки керамічних матеріалів з зв'язаними в силікатній матриці наповнювачами різних типів. Проте більшість матеріалів з підвищеним вмістом керамічних компонентів показали притаманну керамічним матеріалам крихкість, що хоча для силікатної глиби і нижча ніж для простої кераміки, але також явно проявляється в разі довготривалого впливу вібрації чи ударних імпульсів. Дану проблему частково можна вирішити за рахунок введення до складу композитів певних органічних наповнювачів типу торфу та вермикуліту, що надають властивості ударостійкої полімер кераміки але можуть вигорати при експлуатації в умовах високих температур. Альтернативою, а також ефективним доповненням до вказаного методу є армування матеріалу по його об'єму.

Суть удосконалення полягає в тому, що в об'ємі порошкового композиту на основі титанової губки розміщується металічний трос в одній з трьох форм:

1. Металічна сітка з різнонаправлених перпендикулярних волокон.

2. Спірально навитий трос.

3. Трьохосьова структура.

Після армування суміш композиту, як і всі розроблені матеріали спресовується під навантаженням в 10 тонн та піддається спіканню у вакуумі при температурі 1100 °С.

Розроблений метод дозволяє вирішити проблему стійкості порошкових титанових композитів до ударних навантажень.

Вибір тросу, як основи для армуючої структури, обумовлено його власною структурою, складеною спірально закрученими металічними волокнами, що значно підвищує стійкість готової структури до навантажень в порівнянні з композитним дротом.

Висновки. Впровадження даної схеми дозволить надавати порошковим композитним матеріалам на основі титанової губки додаткових ударостійких властивостей, що може бути корисним для виготовлення елементів кокілів відцентрового лиття, що піддаються механічним навантаженням без теплових (зовнішні елементи конструкції), або в комбінації з іншими структуроутворюючими методами для отримання проти осколкових броневих пластин.

При цьому суттєвою перевагою є універсальність методу в плані застосування різних видів тросу для армування, в залежності від необхідних характеристик. Так для кокілів достатньо сталевого тросу, а броневі пластини потребуватимуть титанового, але при цьому необхідні властивості визначатимуться в більшій мірі тим якою з трьох структур армовано матеріал. (1 – ефективна для ударних навантажень і проти осколкового захисту; 2 – для механічних навантажень рухомих частин механізмів; для навантажень по всьому об'єму одразу, напр. тиск на опору чи ін. подібний елемент)

УДК 621.793.8

Случак О. І.,

аспірант,

Случак О. І.,

студентка II курсу,

ЧНУ ім. Петра Могили, м. Миколаїв, Україна

КОМПОЗИТНІ ФІЛЬТРИ ДЛЯ ПРОМИСЛОВИХ ГАЗІВ

В 2014–2018 роках в ЧДУ імені Петра Могили проводяться дослідження в рамках проекту «Структуроутворення та технології інженерії

поверхневих високоміцних структур з перемінною зносостійкістю». В рамках даної тематики було розроблено ряд порошкових композитів для фільтрів на основі титанової губки. Вибір титанового порошку в якості вихідного матеріалу обумовлено доступністю, меншою собівартістю, високою пористістю.

Актуальність. Ефективність фільтрів залежить від багатьох факторів в числі яких сорбційні властивості матеріалу, хімічні властивості сорбента і підданого фільтруванню газу/рідини, пористість фільтру, розмір пор, швидкість потоку фільтрованої речовини і ін. Часто деякі характеристики складно поєднати в однорідних фільтрах. В таких випадках їх роблять багатошаровими, фактично поєднуючи в одному багато монофільтрів. Альтернативою даному підходу (а можливо і його логічним продовженням) є застосування багатокомпонентних пористих композитів.

Об'єктом даного дослідження є методи виробництва та контролю пористості порошкових титанових композитів, а також шляхи вдосконалення їх структури для цільового застосування в різних умовах.

Предметом визначено пористі фільтри на основі титанової губки.

Метою даного дослідження є розробка методик структуроутворення порошкових композитів на основі титанової губки з наповнювачами для фільтрів призначених для очистки газів та рідин, а також використання у інших галузях людської діяльності.

В ході досліджень поставлено ряд **завдань**, що забезпечать системне охоплення досліджуваного питання.

1. Проаналізувати основні характеристики, які здатні забезпечити ефективну роботу фільтрів.

2. Розробити малозатратні етапи технологічного процесу виробництва порошкових композитів для оптимізації структуроутворення матеріалу з фільтруючими властивостями та покращення санітарно-гігієнічних умов в цеху

3. Розробити метод контролю пористості композитів та створити на його основі ряд фільтрів для повітря та рідин; розглянути інші напрямки використання даних матеріалів.

Композиційний матеріал на основі порошку титану з наповнювачами різних типів (рис. 1) виготовляється методом порошкової металургії з рівномірним розподілом наповнювача в об'ємі матеріалу фільтра за рахунок вологого змішування, контролем пористості через додавання солі перед пресуванням з вимиванням після та подальшим спіканням у вакуумній печі при температурі 1100 °С.



Рис. 1. Пористий фільтр з SiO_2

Для виготовлення технічних фільтрів багаторазового застосування було запропоновано використовувати пористий фільтр з титанової губки спечений в муфельній печі при $800\text{ }^\circ\text{C}$. Отриманий рутил є досить ефективним технічним адсорбентом. Пізніше технологію також було вдосконалено за рахунок вакуумного спікання титанової губки з наповнювачами.

Використання пошарової структури дозволяє посилити ефект від надання кожному шару найбільш вигідних в умовах експлуатації характеристик за рахунок наповнювачів.

Таблиця 1

Наповнювачі для композитних фільтрів

Наповнювач	Хімічна формула	Пористість композиту, % (відкрита)	Призначення фільтру
Діоксид кремнію	SiO_2	58	рідина/газ
Активоване вугілля	$[\text{Ti}]+[\text{C}]$	20	газ/рідина (вимагає активації в фільтрі)
Шлам	(мас.%): Fe_2O_3 40–55, Al_2O_3 14–18, CaO 5–10, SiO_2 5–10, TiO_2 4–6, Na_2O 2–4	42	Газ (оксиди сірки)
Сіль кухонна	NaCl	регульована	Добавка для контролю пористості
Силікагель	$n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$	31	Газ (вимагає активації в фільтрі)

Діоксид кремнію – надає антиадгезійні властивості, виступає в ролі поглинача токсинів, так як є ентеросорбентом. Карбон (вугілля) – утворює сполуку карбід титану, що може бути компонентом термопар, або брати участь у активації карбону за наявності поташу, може бути активованим по методу активованого вугілля. Активоване вугілля – виступає в ролі сорбента. Червоний бокситний шлам – грає роль геосорбента, мінерального фільтру сприяє затриманню оксидів сірки.

Вологе замішування основи для пресування призначено для контролю рівномірності розподілу наповнювача, виключення просипання, запобігання потраплянню дисперсного пилу від порошкових наповнювачів в повітря, полягає в додаванні до суміші при розмішуванні певної кількості води до змочування суміші, але без повного розчинення солі. У ході створення даних фільтрів було взято пропорцію металевого порошку рутилу (TiO_2) – наповнювач абсорбент – кухонна сіль (NaCl) : 57 % – 14 % – 29 %.

Контроль пористості здійснювався за рахунок додавання солі NaCl перед пресуванням та її вимиванням перед спіканням заготовки у вакуумі. Теоретично було здійснено спробу збільшити простір у середині пресованого фільтру за допомогою кухонної кам'яної солі для відпрацювання технології контролю пористості при роботі з дрібнодисперсними наповнювачами в суміші з дрібним порошком TiO_2 .

Не менш перспективним виглядає напрямок виготовлення «пустих» фільтрів та наповнення їх домішками з подальшою активацією комплексу. Тут найперспективнішим виглядає застосування методу отримання силікагелю, проте з таким фільтром необхідно працювати в умовах нормальних температур через його пожежонебезпечність, і він не може застосовуватись для фільтрації рідин. В той же час для фільтрації газів, це ефективний багаторазовий (можливість видалити та з нуля сформувати наповнювач) фільтр.

Основною розробкою є поданий до патентування спосіб виготовлення композитних фільтрів на основі суміші порошку губчатого титану з кремнієвим наповнювачем (1) (Патент України № 113463), що містить три шари: Шар грубої очистки з наповнювачем у вигляді червоного бокситного шламу; Шар-поглинач токсинів аналогічний прототипу, але з додаванням дрібної фракції титанової губки; Шар кінцевої очистки з вугільним наповнювачем, що виконує роль простого фільтра. Спікання готового фільтра відбувається в муфельній печі за температури 800 °С, на відміну від спікання в вакуумі при 1100 °С для прототипу. Підвищення тиску з 8 до 10 тонн на стадії пресування обумовлено дещо нижчими механічними властивостями включень рутилу,

брукіту та анатазу, а відповідно необхідністю кращої спайки між частками готового матеріалу

Метою даної роботи є вдосконалення методу спікання пористих композитів типу (1) в муфельній печі з активацією наповнювачів в процесі спікання.

Суть удосконалення полягає в тому, що спікання порошкових композитів відбувається під дією парової бані при чому наповнювач пресується в суміші з металічною матрицею та компонентами, які під дією пари здійснюють розкриття порового простору наповнювачів.

Часний випадок 1: Термічна активація червоного шламу в муфельній печі за температури 800 °С в складі композиту з нейтралізацією в паровій бані морською водою. Отримується композит з активованим наповнювачем для видалення арсенатів, ванадатів і бору в індивідуальних і змішаних розчинах.

Часний випадок 2: Термічна активація вугілля в муфельній печі за температури 800 °С в суміші з фторидом натрію та основою композиту у вигляді титанової губки, розкриття порового простору на паровій бані прісною чи морською водою. Отримуємо типовий технічний фільтр з активованим вугіллям в складі композиту з можливістю повторного розкриття порового простору.

Часний випадок 3: Термічна активація в муфельній печі за температури 800 °С спеченого порошку оксиду силіциуму в атмосфері вуглекислого газу, розкриття порового простору на паровій бані з морською водою.

Часний випадок 4: Низькотемпературна термічна активація рідкого скла за температури до 100 °С в присутності азотної кислоти. Відбувається формування силікагелю на поверхні часток спеченого раніше композиту, просякненого рідким склом, утворюється ефективний адсорбер для очищення газів.

Часний випадок 5: Використання дисперсного порошку червоного шламу для очищення газів від оксидів сірки. Пористий композит формується у вигляді двох спечених половинок з металічними вставками для різьби та вільним простором, що заповнюється червоним шламом та поєднується кріпленням на винтах.

Висновки. Розроблений метод дозволяє вирішити проблему отримання активованих наповнювачів в складі композитних фільтрів типу (1), що дозволяє підвищити ефективність кінцевих виробів. Вибір методу активації як основи для формування композитів для фільтрів обумовлено високою ефективністю адсорбції у поверхонь з розкритим поровим простором і відповідно, універсальністю даного методу у випадку можливості збереження основних властивостей наповнювача.

Впровадження даного методу дозволить налагодити виробництво композитних матеріалів для фільтрування газів та рідин різних типів за методом (1) спікання в муфельній печі пресованої заготовки. При цьому суттєвою перевагою є можливість використання доступних ресурсів у вигляді відходів МГЗ, дерев'яної стружки, морської води.

УДК 629.5.068.3

Нікольчук С. А.,
інженер метролог,
Науково-технічний відділ метрологічного забезпечення
електричних, магнітних, радіотехнічних вимірювань
та іонізуючих випромінювань,
ДП «Миколаївстандартметрологія», м. Миколаїв, Україна

ШВИДКОЗМІННА ЕЛЕКТРОДНА СИСТЕМА У РЕАКТОРІ ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД

Конвенція МАРПОЛ 73/78 висуває суворі вимоги щодо концентрації шкідливих речовин, що скидаються в акваторію портів. Серед багатьох систем очищення стічних вод (СВ), метод електрохімічного очищення знаходить все більш широке застосування, адже серед існуючих він вирізняється порівняною дешевизною. Але у даного методу є один недолік – зниження ККД внаслідок руйнування електродної системи, а також виділення аміаку.

Для вирішення задачі, щодо швидкої зміни електродної системи та відведення аміаку пропонується конструкція реактора, що передбачає швидку зміну зображена на рис. 1.

В пропонованій конструкції електрохімічного реактора, електродна система кріпиться до кришки реактора, що зроблена з недорогого і непровідного матеріалу-фторопласту. Така конструкція дозволить в будь-який момент змінити відпрацьовану електродну систему на нову. Також пропонується в кришці реактора зробити патрубок, через який аміак буде надходити до спеціальних ємностей зберігання, а надалі використовуватися для окиснення вихлопів дизельних установок. Також можливо зробити змінною і мембрану, яка буде вставлятися за допомогою направляючих пазів.

Для зручності заміни електродної системи можливо використовувати не різьбові, а байонетні з'єднання для електродів живлення та

газовідвідного шлангу, що в свою чергу дозволить швидко і зручно проводити процедуру заміни відпрацьованої електродної системи.

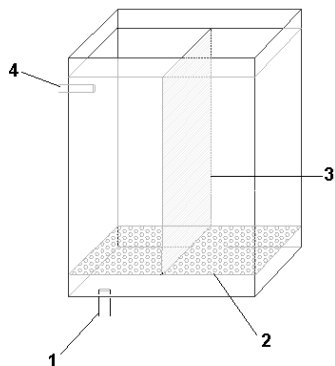


Рис. 1. Електрохімічний реактор
1 – Ввідний патрубок; 2 – Профільоване дно з отворами;
3 – мембрана; 4 – Вивідний патрубок

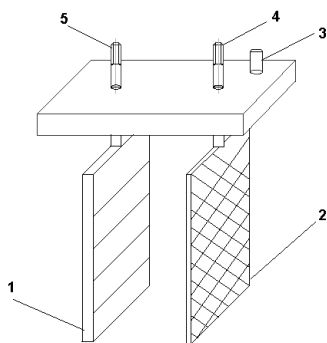


Рис. 2. Електродна система
1 – Анодний електрод (Графіт); 2 – Катодний електрод
(металева сітка); 3 – Газовідвідний патрубок;
4 – Катодний контакт; 5 – Анодний контакт

Висновок: Розглянута конструкція електрохімічного реактора зі швидкозмінною електродною системою. Показані її переваги та перспективність застосування у суднових умовах. Запропоновано використання аміаку, що виділяється для до окиснення вихлопів дизелів.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СВОБОДНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ДИСТАНЦИОННЫХ РАСЧЕТОВ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Метод конечных элементов, благодаря своей универсальности привел к появлению множества программных пакетов, предназначенных для решения самых разнообразных задач прикладной механики. Вследствие сложности данного класса ПО стоимость таких программных пакетов может составлять от нескольких сотен до десятков тысяч долларов США.

Вместе с тем, благодаря усилиям энтузиастов созданы и развиваются программные библиотеки с открытым исходным кодом с использованием метода конечных элементов.

Из наиболее интересных с точки зрения пользователя следует отметить:

FreeFEM++ – кроссплатформенный решатель ДУ в частных производных методом конечных элементов. Имеет свой язык программирования, модули триангуляции и обширную документацию.

ООFEM – пакет конечно-элементного анализа, в котором предусмотрена объектно-ориентированное описание конструкции. Обладает расширяемой модульной архитектурой, поддержкой параллельных расчетов, решателями разреженных матриц. К сожалению, для данного пакета требуются внешние модули генерации конечно-элементной сетки.

GNU Scientific Library – набор разнообразных математических библиотек от авторов известного проекта GNU, в числе которых решатели систем уравнений в частных производных.

Elmer – программная реализация метода конечных элементов с открытым исходным кодом обладающее возможностью решения мультифизических задач, таких как механика твердого тела, электромагнетизм, теплообмен, акустика.

Все перечисленные пакеты обладают отличными возможностями по импорту/экспорту, имеют возможности по управлению программным путем и развитую документацию. А еще, у каждого подобного проекта существует сообщество, в котором заинтересованы в широком применении программного пакета и готовы помочь новичку в его освоении. Все это позволяет сделать вывод о том, что построение рас-

четного сервера на базе пакетов конечно-элементного анализа с открытым исходным кодом является удачным архитектурным решением и позволит избегать проблем роста в будущем.

УДК 621.825

Гурський А. М.,
ЧНУ ім. Петра Могили, м. Миколаїв, Україна

УДОСКОНАЛЕННЯ АВТОМОБІЛЬНОЇ ГАЛЬМІВНОЇ СИСТЕМИ

З метою удосконалення автомобільної гальмівної системи, покращення плавності гальмування, а також збільшення зносостійкості гальмівних фрикційних дисків, запропонована конструкція комбінованої гальмівної системи з використанням магнітореологічних гальм.

Магнітореологічні гальма (МРГ) є комбінацією фрикційного, електромагнітного порошкового та гідравлічної в'язкісного гальма. В якості зчіпного шару використовується магнітореологічна рідина (МРР).

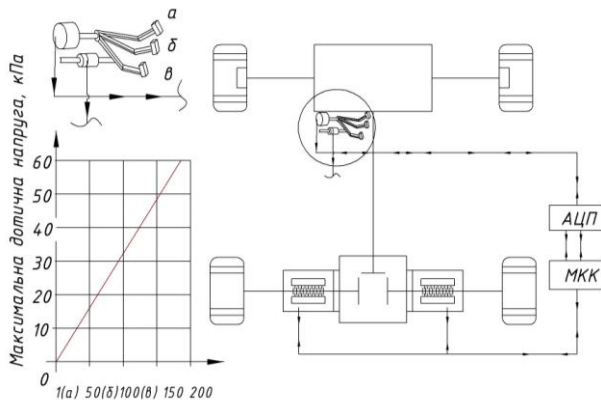


Рис. 1. Схема автомобільної гальмівної системи

Комбінована автомобільна гальмівна система працює в такий спосіб. Поступове натискання педалі гальма з позиції «а» до позиції «б», призводить до прямо пропорційного збільшення в'язкості МРР, і тим самим збільшується гальмівний момент МРР, при цьому сила струму, що подається на обмотку збудження, прораховується керуючим мікро-

контролером таким чином, щоб забезпечити гальмівний момент від 0 до 500 Нм на колесо.

При натисканні педалі гальма з положення «б» до положення «в» одночасно спрацьовують фрикційні гальма з гідравлічною системою і МРГ. У МРГ на обмотку збудження подається необхідна величина сили струму у результаті чого складається достатнє електромагнітне поле. МРГ створює гальмівний момент не менш ніж 500 Нм на колесо.

На рис. 1 представлено три позиції положення педалі гальма залежно від сили натискання на гальмо. При розташуванні педалі гальма до положення «а» гальмування не відбувається.

Конструкції магнітореологічного гальма та автомобільної гальмівної системи захищені патентами України.

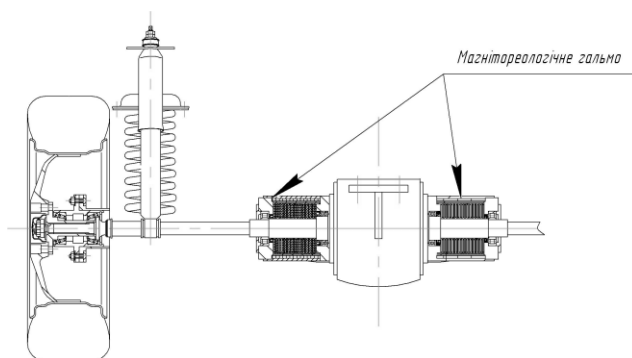


Рис. 2. Схема магнітореологічного гальма

УДК 621.91

Бобошко В. А.,
канд. техн. наук, доцент,
Бобылев И. А.,
студент,
Ключник В. С.,
студент,
НУК им. адм. Макарова, г. Николаев, Украина

ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО КРУГОВОГО ПРОТЯГИВАНИЯ

В настоящее время при разработке программ ЧПУ применяются программы визуализации траектории движения инструмента и формы

получаемого изделия, что позволяет выявлять ошибки на ранних стадиях проектирования и устранять их.

Актуальность исследования. Графическая визуализация процесса производства с помощью 3D-моделирования является более быстрой и эффективной альтернативой предварительного изготовления образцов из мягких материалов (пенопласт, дерево). Не секрет, что процесс отладки и проверки изготовления детали на станках часто приводит к порче инструмента, прижимных приспособлений и заготовок и, как следствие, к большим потерям времени и средств.

Постановка задачи. Как правило, программы визуализации, такие как: SolidEdge, NX, InventorCam не являются универсальными, а разрабатываются под конкретный тип обработки (токарная, фрезерная, сверлильная и т. д.). Однако, для высокоскоростного кругового протягивания программа визуализации не разработана. Поэтому нами было принято решение разработать такую программу.

Для решения данной задачи необходимо было выбрать графический редактор, позволяющий моделировать инструмент, деталь и показывать их взаимодействие. Известные программы по созданию трехмерной графики такие как: 3ds Max, CINEMA 4D, Maya позволяют решить поставленные задачи, однако для их использования требуется наличие платной лицензии. Нами был выбран альтернативный вариант данным программам – графический редактор Blender, обладающий рядом преимуществ, в частности: свободный доступ к программе, наличие большого количества функций, простой и интуитивно понятный интерфейс и сравнительно небольшой объем программы,

Результаты исследования. Для визуализации процесса кругового протягивания необходимо создание 3D моделей заготовки и инструмента. Эти 3D модели создавались в программе Autocad и конвертировались в формат *.obj для импорта в программу Blender.

Для визуализации в Blender был использован метод анимации key-framing, позволяющий изменять размер, задавать вращение и перемещение. Для получения качественного фильма было задано определенное количество кадров в секунду (FPS), размер изображения, тип файла и способ сжатия видео.

Ключевые кадры создавались в различные моменты анимации. Все промежуточные переходные кадры между созданными ключами просчитывались автоматически. Определившись с этими параметрами, был проведен расчет длины анимации в секундах. Данным способом выполнена анимация вращения протяжки, возвратно-поступательного движения заготовки, а так же процесс формирования впадины.

Формирование впадин в заготовке осуществлялось с помощью модификатора «Булевых Операций» путем добавления модели круговой протяжки с указанием координат оси вращения.

Кадр из анимации процесса обработки представлен на рис. 1.

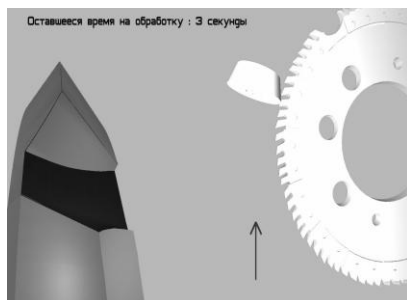


Рис. 1. Кадр визуализации

В разработанной программе была реализована визуализация отклонения размеров и формы от заданных, путём выделения отклонений другим цветом.

Выводы. Разработанный программный продукт, позволяет визуализировать процесс высокоскоростного кругового протягивания и упрощает принятие многих ключевых решений по оптимизации данного процесса.

УДК 621.7:004.94

Поліщук В. А.,
канд. техн. наук, доцент,
Ніколаєв О. Л.,
канд. техн. наук, доцент,
Вижул Н. В.,
магістрант,
Григорович М. В.,
магістрант,

НУК ім. адм. Макарова, м. Миколаїв, Україна

РОЗРОБКА КОМПЛЕКСУ УНІВЕРСАЛЬНО-СКЛАДАНИХ ПРИСТОСУВАНЬ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Відомо, що широкі можливості системи універсально-складаних пристосувань (УСП) розкриваються при комплексному оснащенні

технологічних процесів (на усіх видах механічної обробки, складальних та зварювальних робіт, холодного штампування, контрольно-вимірвальних операцій) та при механізації УСП. У цьому випадку виробництво отримує найбільшу ефективність від експлуатації УСП, яка виражається у різкому скороченні термінів технологічної підготовки виробництва, виготовлення оснастки і в значному зниженні витрат.

Одним з основних показників якості для УСП, який впливає на точність роботи, вібростійкість, надійність, є жорсткість. З огляду на велику кількість стиків і спряжень в конструкціях УСП, врахування впливу жорсткості на їх експлуатаційні властивості є необхідним і обов'язковим. Несталість зусиль різання та змінність жорсткості верстатних пристосувань й інших елементів технологічної системи зумовлюють виникнення вібрацій, які підвищують шорсткість оброблюваної поверхні, погіршують умови роботи ріжучого інструмента та посилюють динамічний характер сили різання. Тому вібростійкість – одна з найважливіших експлуатаційних властивостей пристосування при обробці точних деталей, що визначає його динаміку. Динамічні параметри пристосування можуть суттєво змінювати параметри всієї технологічної системи і, головним чином, впливати на положення заготовки в просторі, що прямо пов'язано з точністю і якістю обробки. Тому дослідження експлуатаційних параметрів переналагоджуваних пристосувань, пов'язаних з жорсткістю та вібростійкістю їх конструкцій, є актуальною науково-технічною задачею.

Статистичні дані по відмовам пристосувань, які на сьогодні є основним джерелом інформації для висновків щодо надійності, зібрати складно. Тому не статистичні дані, а розрахунок, моделювання і прогнозування можливих змін параметрів пристосування в очікуваних умовах експлуатації, технологічне забезпечення заданих показників якості, зокрема жорсткості і вібростійкості, є основою для управління надійністю пристосування і забезпечення її необхідного рівня.

Питання коливань технологічної системи при накладенні зовнішніх збурень при різанні є одним з найважливіших для розрахунків точності та продуктивності обробки і разом з тим дотепер не до кінця вирішеним. Незважаючи на те, що розроблено фундаментальні теорії оцінки вібростійкості верстатів, конструктори зазнають значних труднощів при розрахунках динамічних параметрів верстатних пристосувань. Вважаючи їх другорядними елементами технологічної системи, дослідники мало приділяли їм уваги, чим пояснюється майже повна відсутність теоретичних і прикладних робіт в цій області.

Метою роботи є покращення експлуатаційних характеристик УСП шляхом технологічного забезпечення показників жорсткості та вібростійкості конструкцій пристосувань. Об'єкт дослідження – комплекс

УСП для закріплення заготовок; статична та динамічна точність при експлуатації переналагоджуваної оснастки. Предмет дослідження – твердотільні 3D-моделі конструкцій УСП, їх параметри жорсткості та вібростійкості; затискна здатність верстатного пристосування.

В роботі вирішувались наступні задачі: розробка технологічного процесу механічної обробки деталі; комплексне оснащення розробленого технологічного процесу із застосуванням системи УСП; твердотільне 3D-моделювання конструкцій УСП; визначення напружень і деформацій, що виникають під дією зусиль різання, у спроектованих конструкціях УСП шляхом дослідження 3D-моделей оснастки за допомогою CAE-систем; корегування конструкцій пристосувань з метою підвищення жорсткості; визначення частот власних коливань системи пристосування-деталь за допомогою CAE ANSYS; корегування конструкцій пристосувань або режимів різання для підвищення вібростійкості системи та зменшення впливу вібрацій від зусиль різання.

Як окрему експлуатаційну властивість було розглянуто затискну здатність пристосування, яка характеризується особливостями затискних механізмів і полягає в надійному закріпленні, що попереджує вібрацію і зсув заготовки при обробці. При цьому для достовірної оцінки величини зусиль закріплення враховувалися зміни характеристик тертя в умовах обробки під впливом вібрацій.

УДК 621.763

Андрєєв В. І.,

канд. техн. наук, доцент,

Случак О. І.,

аспірант,

Шугай В. В.,

аспірант,

ЧНУ ім. Петра Могили, м. Миколаїв, Україна

МЕТОДИ СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ ЗНОСОСТІЙКИХ ТЕПЛОІЗОЛЮЮЧИХ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ

Метою даного дослідження є вирішення проблеми заміни зношених конструкцій за рахунок застосування більш доступних та дешевих матеріалів аналогічних до тих, що застосовують в піщано-глинистих формах для отримання жаростійких виробів з підвищеною ударостійкістю.

В процесі дослідження поставлено ряд завдань:

1. Обрати оптимальну структуру для готової конструкції де застосовуватиметься композитний матеріал.

2. Розробити оптимальний склад композитного матеріалу для експлуатації в умовах підвищених навантажень.

3. Сформулювати концепцію формування матеріалів з об'ємно змінними властивостями для експлуатації в умовах підвищеного термічного та механічного навантаження.

Визначено, що оптимальною є багатошарова роз'ємна конструкція де лицевий шар складається з матеріалу, найкраще адаптованого до безпосереднього впливу чинника, що викликає знос (ударостійка та жаростійка металокераміка з поверхневою пористою структурою та скритою об'ємною пористістю). В залежності від потреби інша частина конструкції може виступати як в ролі одночасно механічної основи та радіатора, так і в ролі теплоізоляційного матеріалу.

Вибір пошарової структури в композитах такого типу обумовлено ефективністю подібного розміщення дерев'яних волокон в пресованих орієнтовано-стружкових плитах, що показала свою ударостійкість в конструкції давньоримських щитів «скутум», що матиме набагато вищу ефективність, ніж структура отримана звичайними методами порошкової металургії.

Використання концепції закриття об'ємної пористості викликано підтвердженням експериментально, фактом руйнування пористих порошкових композитів внаслідок капілярного ефекту при використанні в якості футерування в формах для лиття та ефективному протистоянні вібраційному руйнуванню при наявності в матеріалі полімер-керамічного зв'язуючого між зернами металу та наповнювача.

Впровадження даної методики отримання композитів дозволить застосовувати методи порошкової металургії для отримання ударостійких структурно-орієнтованих матеріалів, що в перспективі може бути застосовано при виробництві броневих пластин індивідуального захисту та елементів проти осколкового захисту армійського легкового транспорту.

При цьому суттєвою перевагою є використання доступної в великих кількостях титанової губки, що в розробленій конструкції є легшою та міцнішою ніж прості сплави заліза та листовая сталь.

Процес виготовлення розбито на чотири операції: 1) виготовлення стружки з спресованої титанової губки, 2) Пресування смужок з отриманої стружки, 3) Пресування матеріалу з смуг, розміщених перпендикулярно одна до одної, 4) Спікання готового напівфабрикату.

В процесі виготовлення матеріалу надається шарувата структура з перпендикулярно розміщених смуг спресованої стружки титанової

губки (рис. 1). Спресована титанова губка піддається механічній обробці, за рахунок якої утворюється стружка у вигляді дрібних металічних волокон. Отриману стружку спресовують при тиску 8 тонн в тонкі смуги, аналогічно до того, як це відбувається з дерев'яною стружкою для фанерних матеріалів, після чого смуги накладаються одна на одну, з розміщенням кожного шару перпендикулярно попередньому та повторно спресовуються під тиском в 10 тонн. Проміжки між смугами заповнюються за рахунок засипки металокерамічної порошкової суміші складу: корунд дрібнодисперсний, вермикуліт, титанова губка ТГ-150 фракції 2–12 мм, порошковий напівфабрикат на основі епоксидної смоли та зв'язуючого у вигляді гідролізованих силікатів. Готовий напівфабрикат спікається в вакуумі при температурі 1100 °С.

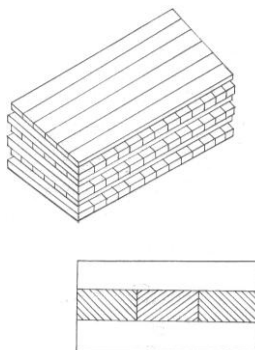


Рис. 1. А – Розміщення смуг композиту в матеріалі,
В – Поперечний зріз композиту

Впровадження даної методики отримання композитів дозволить застосовувати методи порошкової металургії для отримання ударостійких структурно-орієнтованих матеріалів та застосовувати методи порошкової металургії для отримання пресованих виробів з волокнистою основою.

Розроблений метод може бути впроваджений в виробництві ударостійких елементів механізмів, а також при виробництві броневих пластин індивідуального захисту та елементів проти осколкового захисту армійського легкового транспорту.

Розробка може становити інтерес для порошкової металургії як базовий метод для отримання нової лінії композитних матеріалів на основі титанової губки, а також як елемент армування власне порошкових титанових композитів з керамічною матрицею для підвищення їх ударостійкості.

Соловьев С. Н.,
канд. техн. наук,
НУК им. адм. Макарова, г. Николаев, Украина
Гурский А. Н.,
аспирант,
ЧНУ им. Петра Могилы, г. Николаев, Украина

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ФРИКЦИОННЫХ МУФТ ПУТЕМ ОРГАНИЗАЦИИ ИЗБИРАТЕЛЬНОГО МАСОПЕРЕНОСА

В приводах различных машин и механизмов широко применяют электромагнитные фрикционные муфты. В таких муфтах момент вращения передается посредством трения между ведущими и ведомыми частями.

Разработаны разнообразные конструктивные варианты электромагнитных фрикционных муфт, отличающиеся некоторыми положительными свойствами, однако каждая муфта имеет и определенные недостатки.

Существенным недостатком данного типа муфт является повышенный износ фрикционных дисков и соответственно, уменьшение срока службы муфты. Одним из возможных способов повышения долговечности, а следовательно и увеличения ресурса является способ организации избирательного переноса между трущимися деталями в электромагнитной муфте.

Наличие смазки между дисками создает необходимость конструктивного расположения смазочных канавок и скосов на фрикционных дисках, что в свою очередь уменьшает площадь прохождения магнитного потока и увеличивает сопротивление в магнитной цепи рис .1.

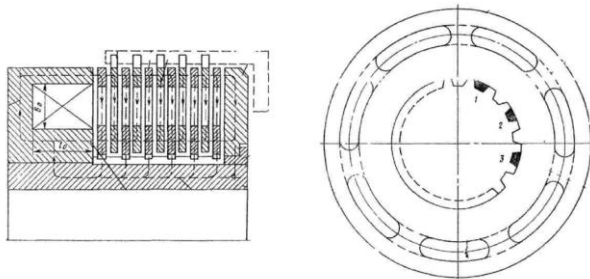


Рис. 1. Принципиальная схема фрикционной муфты со смазочными канавками

В результате трения между дисками происходит нагрев и выгорание масла, вследствие чего муфта начинает работать в режиме сухого трения. Введение новой смазки между дисками затруднительно из-за особенности конструкции муфты.

При работе в режиме сухого трения, происходит повышенный нагрев муфты и обмотке возбуждения, что может привести к отказу.

Решением данной проблемы а также увеличение ресурса фрикционных дисков, является введение в рабочую полость магнитной жидкости на основе нефтепродуктов, а также покрытием ведущих дисков слоем меди.

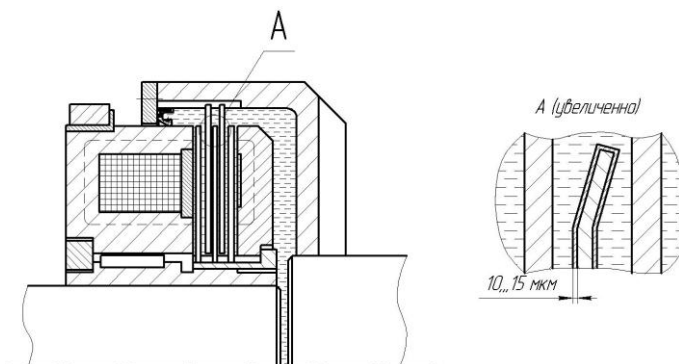


Рис. 2. Принципиальная схема реализации явления избирательного переноса в электромагнитной фрикционной муфте

При включении обмотки возбуждения магнитная жидкость втягивается в область наибольшего магнитного поля, заполняя пространство между дисками, смазывая их и увеличивая теплоотдачу от зоны трения в окружающую среду. В зоне наибольшего контакта фрикционных дисков происходит наибольший износ и нагрев дисков. При этом частички изношенной меди будут растворяться в магнитной жидкости, которая инициирует избирательный перенос, и оседать на наиболее нагретых (изношенных) местах дисков, восстанавливая тем самым их, и увеличивая ресурс работы дисков и муфты.

Исходя из выше сказанного можно предположить, что реализация избирательного переноса возможна, особенно в муфтах работающем при повышенном трении. При использовании этого эффекта увеличивается ресурс работы фрикционных дисков и соответственно муфты. При этом увеличение сопротивление магнитной цепи с потерей магнитного поля будет незначительны.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДАШУКОВСКИХ БЕНТОНИТОВ В КАЧЕСТВЕ ГЕОМОДИФИКАТОРОВ ТРЕНИЯ

В процессе исследования Дашуковских бентонитов Черкасского месторождения в качестве геомодификаторов были идентифицированы два момента, представлявшие теоретический и практический интерес для трибологов и технологов.

Первый эффект связан с наблюдением относительного повышения несущей способности пар трения при увеличении параметров нагружения. Перспективное направление требовало создания оборудования, способного надежно работать с контактными давлениями до 200 МПа. Этим требованиям отвечает установка У-РТ замкнутого контура, созданная в Национальном университете кораблестроения имени адмирала Макарова для моделирования процессов трения и износа подшипников судовых аппарелей. Низкие скорости скольжения (0,001...0,1 м/с) не служили препятствием для исследования. Более того, эффект проявлялся нагляднее.

Второй замеченный эффект связан с тем, что бентонитовые добавки придают процессу трения определенные черты абразивного износа, что можно использовать для интенсификации технологии притирки, в частности зубчатых пар судовых тяжело нагруженных быстроходных передач. Традиционные притирочные составы (на основе карбида бора, электрокорунда и т. п.) вызывают изменения в поверхностных слоях притираемых поверхностей. Наличие бентонитов в притирочных составах нивелирует такие отрицательные моменты.

В состав притирочной пасты ГОИ + бентонит + 40-50 % водного раствора нитрата натрия ($NaNO_2$) показал эффективность в 1,5 раза выше по сравнению с традиционными рецептами. Паста, содержащая вместо ГОИ бентонит, дает стабильные результаты несколько ниже по эффекту, но полностью исключает поверхностные изменения. По видимому, эту или ей подобную пасту можно использовать при особых требованиях к финишной поверхности.

Однако нас интересовала не технология притирки, а механизм трения и износа при добавках бентонита в смазки. Полученные результаты являются дополнительным свидетельством в пользу гипотезы об определенной степени абразивном характере взаимодействия геомодификаторов с поверхностями трения..

Например, состав: паста ГОИ + бентонит + 40 % водный раствор нитрата натрия ($NaNO_2$).

Экспериментальные данные аппроксимировались степенной функцией вида

$$U = A (lgN)^B$$

где A и B – коэффициенты, зависящие от состава притирочной пасты.

Предварительные исследования показывают обнадеживающие результаты.

УДК 621.91

Бобошко В. О.,

канд. техн. наук, доцент,

Рудакова В. Є.,

магістр,

НУК ім. адмірала Макарова, м. Миколаїв

ВПЛИВ НА ЯКІСТЬ ТРИБОТЕХНІЧНИХ ПОВЕРХОНЬ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

Одною з найважливіших проблем сучасного машинобудування є розробка заходів по підвищенню довговічності машин в умовах жорстких швидкісних і навантажувальних режимів експлуатації. При цьому задача забезпечення об'ємної міцності деталей при нормальних умовах роботи практично вважається вирішеною і на перше місце виходить міцність і зносостійкість поверхневого шару. Адже саме контакт поверхонь деталей машин визначає її ресурс в цілому. Тому тенденцією стала розробка нових комбінованих технологій з використанням механічного та інших високоенергетичних впливів на поверхню деталей.

Електромеханічне зміцнення (обробка) (ЕМО) засновано на поєднанні термічного й силового впливу на поверхневий шар оброблюваної деталі. Сутність цього способу полягає в тому, що в процесі обробки через місце контакту інструмента з виробом проходить струм великої сили й низької напруги, внаслідок чого виступаючі гребінці поверхні піддаються сильному нагріванню, під тиском інструмента деформуються й згладжуються, а поверхневий шар металу зміцнюється. При певному зусиллі в зоні контакту деформуючих елементів і деталі інтенсивність напружень перевищує межу текучості, внаслідок чого відбувається пластична деформація мікронерівностей, змінюються фізико-механічні властивості і структура поверхневого шару (наприклад, збі-

льшується мікротвердість або виникають залишкові напруження в поверхневому шарі). При цьому можна значно знизити шорсткість оброблюваної поверхні деталей, що дозволяє використовувати електромеханічну обробку як чистову взамін, наприклад, шліфування, яке є менш продуктивним ніж ЕМО.

Особливості електромеханічного способу зміцнення деталей:

– тепловий та силовий вплив на поверхневий шар здійснюють одночасно, а не послідовно; нагрівання супроводжується дією значних тисків;

– нагрівання поверхневого шару металу від дії двох джерел тепло-ти: зовнішнього (теплота тертя) та внутрішнього (теплота, яка виділяється під час проходження струму). Теплота від нього утворюється одночасно і миттєво по всьому поверхневому шарі;

– тривалість нагрівання та витримки залежно від поверхні контакту та швидкості обробки дуже короткочасна (соті-тисячні долі секунди);

– високу швидкість охолодження визначають за інтенсивністю відведення теплоти від тонкого поверхневого шару в середину деталі;

– поверхневий шар підлягає багаторазовим термомеханічним впливам залежно від

кількості робочих ходів. За температури нагрівання, більшої, ніж температура рекристалізації, в результаті обробки в поверхневому шарі утворюється світла зона, що являє собою дрібнодисперсний мартенсит, а у разі температури нагрівання, меншої температури рекристалізації – темна зона, з середньо дисперсною структурою без фазових перетворень.

Термомеханічна обробка – це складний процес пластичної деформації, під час якого в поверхневому шарі збільшується щільність дислокацій, величина мікронапружень, змінюється структура.

Термомеханічну обробку застосовують для виготовлення зубчастих коліс, циліндрів, плоских поверхонь (станіни), гвинтових поверхонь тощо.

Разом з цим на сьогоднішній день ще не повністю обгрунтований механізм формування поверхневого «білого шару» і формування його основних характеристик, в тому числі, геометричних при різних умовах обробки. Відповідно дослідження процесів керування якістю поверхонь деталей машин, оброблених ЕМО, є актуальною задачею.

Як показують дослідження різних авторів, збільшення початкової шорсткості призводить до підвищення неоднорідності будови утвореної поверхні і коливань зусиль деформації від оптимального значення. При виборі режимів чистової обробки ЕМО необхідно враховувати в основному шорсткість поверхні, точність і глибину зміцнення. При цьому в якості підготовчої операції слід використовувати шліфування.

Для чистових методів обробки з невеликою глибиною зміцнення використовують підвищенні швидкості ковзання порядку 30–120 м/хв.

При обробці з швидкостями нижче 10 м/хв поверхневий шар прогрівається на більшу глибину, що обумовлює зростання глибини зміцнення і підвищує ступінь деформації нерівностей, тобто шорсткість обробленої поверхні знижується. Число проходів інструмента незначно впливає на чистоту обробленої поверхні, оскільки практично після першого проходження шорсткість формується в остаточному вигляді.

Із представленого огляду досліджень процесу забезпечення якості поверхонь тертя після електромеханічної обробки можна зазначити наступне.

1. ЕМО є прогресивним способом фінішної обробки поверхонь деталей машин, що забезпечує кращі показники якості поверхневого шару порівняно з традиційним шліфуванням.

2. Визначальним фактором впливу на умови формування характеристик шорсткості при ЕМО є в зоні контакту інструмента і заготовки, який в свою чергу залежить від: зусилля притискання, форми і шорсткості контакту, фізико-механічні властивості матеріалів.

3. Швидкісний фактор процесу вигладжування при ЕМО дозволяє керувати температурними процесами в контактній зоні і, відповідно, ступенем деформації нерівностей.

УДК 510.083:530.083:540.063

Буряк В.Г.,

канд. техн. наук, доцент,
ХОІППО, м. Хмельницький

Буряк В.В.,

спеціаліст технічної електрохімії,
студент магістратури «Комп'ютерна інженерія»

Буряк А.В.,

магістр електромеханіки,
навчальний майстер кафедри машин та апаратів
ХНУ, м. Хмельницький

ЕЙЛЕРА ДРУГА ГРАНИЦЯ В КОМП'ЮТЕРНИХ РОЗРАХУНКАХ

В технічних науках та інженерії розрахункам необхідно приділяти увагу при використанні функцій піднесення до степеню в комп'ютерних

засобах, які вже використовують поняття натурального логарифма і числа Ейлера e . Так, наприклад, для визначення концентрації речовин, періоду розпаду речовин при визначенні вікової давності предметів археології (скелетів, глечиків тощо), опису закономірностей затухання коливних і хвильових процесів, послаблення амплітуди хвилі в результаті взаємодії її з середовищем, щодо зміни напруги на конденсаторі при його розрядженні та ін., в розрахунках приймають участь показникові і обернені до них – логарифмічні функції. Для дослідження відповідності числових значень в комп'ютерних розрахунках прийнята Ейлера друга границя, яку можна представити у наступному

вигляді: $e = \lim_{x \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{1}{x}\right)^x$ (1). Число e – трансцендентне ірраціональне, наближене значення якого приводиться в довідникових даних:

$e = 2,718281828459045\dots$ Обмеженість Ейлера другої границі до-

водиться за допомогою формули бінома, згідно якої значення e завжди менше, ніж 3. Це число також використовується як основа для електронних обчислювальних операцій. Сучасні обчислювальні системи (процесор **MSEExcel**, система символічних і числових обчислень **MathCad**, програма **Pascal** та ін.) забезпечують розрахунки з великими числовими значеннями. Питання в тому, наскільки є точними обчислення значень e за допомогою комп'ютерної техніки?

Розглянемо результати розрахунків функції (1) різними програмними засобами та комп'ютерами: в середовищі процесора **MSEExcel**, **MathCAD**, **FreePascal (Pascal)** при наближенні до деякого числа x . Для виконання розрахунків засобами **FreePascal** створені програми, де вибрані різні формати змінних. Типи даних, які використовуються в створених програмах **FreePascal**: **QWord** – для задання числа x як цілого числа степені; **Real** та **Extended** – дійсні та розширені дійсні числа (змінні підвищеного розміру), які використовуються для розрахунків та отримання результату. Програма №1 використовує тип **Extended** та отримує бажане значення числа заданого степеню за допомогою звичайного множення числа на його значення. Програма №2 використовує алгоритм, який прискорює піднесення до степеню (якщо степінь – ціле число). Програма №3 – піднесення до степеню відбувається за допомогою перетворення, в якому використовується натуральний логарифм. Ця програма може підносити до будь-якого степеню, в тому числі, може знаходити корінь шуканого числа. Програма №4 подібна до програми №3, але замість типу даних **Extended** застосовується тип **Real** для отримання проміжних і кінцевого результатів.

Результати комп'ютерних розрахунків (різні комп'ютери не змінюють результати) Ейлера другої границі із застосуванням різних програмних засобів представлені в таблицях 1–2.

Таблиця 1

Результати розрахунків функції (1) засобами FreePascal

Аргумент (x)	Результат розрахунку функції за різними створеними програмами:			
	Програма №1	Програма №2	Програма №3	Програма №4
1E+4	2.7181459268252	2.7181459268252271	2.7181459268252260	2.71814592682492
1E+6	2.7182804693194	2.7182804693194112	2.7182804693194429	2.71828046909575

Таблиця 2

**Результати розрахунків функції (1)
з великими числовими значеннями різними засобами**

Аргумент (x)	Результат розрахунку функції засобами:		
	MSExcel	FreePascal	MathCAD
1E+15	3,03503520654926	3.0350352065492618	3.035035206549262
3E+15	3,78962712197163	3.7896271219716318	3.7896271219716318
7E+15	4,73183101553253	4.7318310155325340	4.731831015532534
8E+15	5,90829230394221	5.9082923039422086	5.908292303942209
9E+15	7,37725371726828	7.3772536072974484	7.37725371726828

Ейлера друга границя в комп'ютерних розрахунках із застосуванням різних програмних засобів та комп'ютерів показує розбіжності значень e . Це пов'язано із застосуванням певного алгоритму та використуваних типів змінних. В розрахунках отримані значення e більші, ніж 3. Такий результат, очевидно, спонукає на проведення подальших спеціальних математичних досліджень в комп'ютерних розрахунках.

ЗМІСТ

Секція: Трибологія..... 1

Клименко Л. П., Дихта Л. М., Андреев В. І. Комп'ютерне дослідження теплових процесів при литті в металевий кокіль короткої товстостінної циліндричної оболонки 1

Клименко Л. П., Прищепов О. Ф., Андреев В. И. Исследование износостойкости серого и высокопрочного чугунов, полученных методом вакуумного всасывания 3

Кіндрачук М. В., Мнацаканов Р. Г., Гуменюк І. А. Зносостійкість евтектичних плазмових покриттів на сталі 12Х 18Н10Т, оброблених лазерним випроміненням 4

Андрущенко М. И., Осипов М. Ю., Куликовский Р. А., Капустян А. Е. Исследование изнашивающей способности абразивных масс..... 7

Кубич В. И. Состояние потока моторного масла в подшипнике скольжения 9

Тарабрін О. І., Шербак Ю. Г. Схемне рішення гідродинамічної опори кочення з пружно-демпфірувальними елементами 11

Андреев В. І., Случак О. І. Спосіб модифікації поверхні тертя металічної деталі двз шляхом нанесення покриття ТІ-ТіО₂..... 13

Андреев В. І., Случак О. І., Случак О. І. Спосіб армування пористих титанових композитів металевими волокнами сталевого тросу 17

Случак О. І., Случак О. І. Композитні фільтри для промислових газів 19

Нікольчук С. А. Швидкозмінна електродна система у реакторі очищення стічних вод 24

Рукавишников Д. В. Перспективы применения свободного программного обеспечения для дистанционных расчетов методом конечных элементов	26
Гурський А. М. Удосконалення автомобільної гальмівної системи	27
Бобошко В. А., Бобылев И. А., Ключник В. С. Программный модуль визуализации высокоскоростного кругового протягивания	28
Поліщук В. А., Ніколаєв О. Л., Вижул Н. В., Григорович М. В. Розробка комплексу універсально-складаних пристосувань та дослідження їх експлуатаційних характеристик	30
Андреев В. И., Случак О. И., Шугай В. В. Методи структуроутворення зносостійких теплоізолюючих композитних матеріалів	32
Соловьев С. Н., Гурский А. Н. Совершенствование электромагнитных фрикционных муфт путем организации избирательного масопереноса.....	35
Соловьев С. Н., Боду С. Ж. Перспективы использования Дашуковских бентонитов в качестве геомодификаторов трения.....	37
Бобошко В. О., Рудакова В. Є. Вплив на якість триботехнічних поверхонь електромеханічної обробки	38
Буряк В. Г., Буряк В. В., Буряк А. В. Ейлера друга границя в комп'ютерних розрахунках.....	40

Редактор, технічний редактор, комп'ютерна верстка *Л. Бернацька*.
Друк *С. Волинець*. Фальцювальні-палітурні роботи *О. Кутова*.

Підп. до друку 10.10.2017.
Формат 60x84¹/₁₆. Папір офсет.
Гарнітура «Times New Roman». Друк ризограф.
Ум. друк. арк. 2,32. Обл.-вид. арк. 1,69.
Тираж 15 пр. Зам. № 5359.

Видавець і виготовлювач: ЧНУ ім. Петра Могили.
54003, м. Миколаїв, вул. 68 Десантників, 10.
Тел.: 8 (0512) 50–03–32, 8 (0512) 76–55–81, e-mail: rector@chmnu.edu.ua.

АДРЕСА ОРГКОМІТЕТУ:

**ОЛЬВІЙСЬКИЙ ФОРУМ – 2017:
СТРАТЕГІЇ КРАЇН ПРИЧОРНОМОРСЬКОГО РЕГІОНУ
В ГЕОПОЛІТИЧНОМУ ПРОСТОРИ**

XI Міжнародна науково-практична конференція

Чорноморський національний університет
імені Петра Могили,
вул. 68 Десантників, 10,
м. Миколаїв, 54003, Україна

Тел.: 8 (0512) 50–03–32,
8 (0512) 76–55–81,
8 (0512) 76-55-99,
факс: 50–00–69, 50–03–33,
E-mail: avi@chmnu.edu.ua
e-mail: rector@chmnu.edu.ua

