

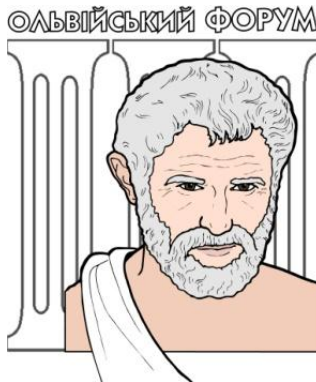
Міністерство освіти і науки України
Національна академія наук України
Чорноморський державний університет імені Петра Могили
Хмельницький національний університет
Товариство трибологів України



**ОЛЬВІЙСЬКИЙ ФОРУМ – 2014:
СТРАТЕГІЇ КРАЇН
ПРИЧОРНОМОРСЬКОГО РЕГІОНУ
В ГЕОПОЛІТИЧНОМУ ПРОСТОРІ**
Міжнародна науково-практична конференція

ТЕЗИ

**ТРИБОЛОГІЯ, ЕНЕРГО- ТА
РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ**



4-7 червня 2014 р.
Миколаїв, Україна

Ольвійський форум – 2014: Стратегії країн Причорноморського регіону в геополітичному просторі : тези. – Миколаїв : Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2014. – 72 с.

Обмін міжнародним досвідом країн Причорноморського регіону щодо окреслення оптимальних шляхів, напрямів та характеру теоретичних, практичних і освітянських реформ, адаптованих до європейських стандартів з проблем державного управління, енергетики, екології, інформаційних технологій, філософії, політології, соціології та мовної культури в складних умовах глобальної фінансової і соціально-економічної кризи.

**РОЗВИТОК НАУКОВОЇ ШКОЛИ ТРИБОЛОГІЇ
НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ
(до 130-річчя НУХТ)**

Протягом більш ніж півстоліття в Національному університеті харчових виробництв проводяться дослідження, націлені на підвищення довговічності обладнання харчових виробництв. Накопичено значний експериментальний і теоретичний матеріал, який потребує узагальнення, що є метою цієї статті.

Дослідження в галузі трибології в Національному університеті харчових технологій (на той час – Київський технологічний інститут харчової промисловості) було започатковано на початку п'ятдесятих років минулого століття з ініціативи завідувача кафедри технології металів Прейса Г. О. (тоді доцент, канд. техн. наук). З самого початку ці дослідження було націлено на вивчення особливостей зношування та корозії деталей обладнання харчової промисловості та підвищення їх зносостійкості. Особливості зношування деталей обладнання харчової промисловості на відміну від іншого обладнання зумовлені в першу чергу специфікою роботи цих деталей. У багатьох випадках зношування деталей при терті відбувається в умовах контакту з технологічними середовищами, більшість яких характеризується підвищеною хімічною і поверхневою активністю та наявністю в їх складі твердих домішок (в тому числі абразивних). Г. О. Прейсом були встановлені основні види зношування, які зустрічаються при експлуатації обладнання на харчових підприємствах, відповідно до класифікації Б. І. Костецького. Крім того Г. О. Прейсом ця класифікація була доповнена особливим видом корозійно-механічного зношування, який він назвав хіміко-механічним. Такого зношування зазнають деталі обладнання олієжированої, м'ясопереробної, зернопереробної та інших галузей харчової та переробної промисловості. При цьому зношування деталей відбувається при терті не двох деталей, а при силовій дії на поверхні деталей робочих технологічних середовищ (сипких чи рідких). Г. О. Прейс вперше дав пояснення процесам зношування цих деталей з позицій фізико-хімічної механіки матеріалів, посилаючись на ефект Ребіндера. Спираючись на основні положення теорії зношування, ним були запропоновані методи підвищення зносостійкості деталей ряду обладнання. Зокрема, на основі правила позитивного градієнту було розроблено методи підвищення довговічності деталей хлібопекарного виробництва шляхом нанесення на деталі покриттів з м'яких металів (зокрема, олова). Результати цих досліджень були узагальнені в докторській дисертації Прейса Г. О., яку

він успішно захистив у 1963 році, та монографії. [Прейс Г. А. Повышение износостойкости деталей оборудования предприятий пищевой промышленности : [монографія] / Г. А. Прейс. – М. – К. : Машгиз, 1963. – 283 с.]

Дослідження зносостійкості деталей обладнання харчових виробництв у подальші роки були продовжені і розвинені послідовниками та учнями професора Прейса Г. О. Доцент Лазаренко В. К. дослідив зношування термічно оброблених сталей при терті без мащення. Зінко Б. М. досліджував вплив поверхневого наклепу на зносостійкість деталей обладнання при терті в рідких середовищах харчових виробництв. Сологуб М. А. першим провів обсяжне і ґрунтовне вивчення зношування деталей обладнання бурякоцукрового виробництва при терті в різноманітних технологічних середовищах, у тому числі в розчинах цукрози. Результати цих досліджень представлено в монографіях. [Лазаренко, В. К. Износостойкость металлов: [кол. монографія] / В. К. Лазаренко, Г. А. Прейс. – М. – К. : Машгиз, 1960. – 220 с. Прейс Г. А. Повышение износостойкости деталей оборудования сахарных заводов : [монографія] / Г. А. Прейс, Н. А. Сологуб. – К. : Техніка, 1966. – 139 с.]

Особливо інтенсивного розвитку трибологічні дослідження набули після відкриття на кафедрі у 1965 році аспірантури. У тому ж році почали працювати перші аспіранти Некоз О. І., Смертяк Ю. Л., Кукшин В. К. саме Некоз О. І. першим из дослідників розпочав вивчення кавітаційно-ерозійного зношування деталей обладнання харчових виробництв. Перші дослідження проводились на ударно-ерозійному стенді, а в подальших дослідженнях використовувались ультразвукові та інші стенди. Смертяк Ю. Л. вивчав роботу сальникових ущільнень насосів цукрових заводів і зносостійкість металів при терті по м'яких набивках цих ущільнень в різних технологічних середовищах. З метою дослідження роботи сальникових ущільнень ним був створений оригінальний стенд, який, крім визначення основних технічних параметрів сальникових ущільнень, дозволяв також визначати величину зношування втулок ущільнень методом штучних баз. Дослідження Кукшина В. К. були присвячені вивченню процесів зношування при терті в технологічних середовищах м'ясопереробних виробництв та підвищенню довговічності різальних елементів (ножів і решіток) м'ясорізальних вовчків. У подальші роки аспірант Слинько О. І. досліджував вплив технологічних середовищ на гідроабразивну зносостійкість деталей відцентрових насосів цукрових заводів. Дисертація Павленка В. С. була присвячена вивченню зношування деталей шарнірів продовольчих автоматів при реверсивному обертанні. Новицьким О. Є. вивчалось зношування деталей обладнання молочних заводів та була створена оригінальна установка для вивчення ролі віброударних процесів при зношуванні цих деталей. Іпатовим О. К. та Сухенком Ю. Г. були всебічно досліджені конструкції і матеріали паперорізальних ножів цукеркозагортувальних автоматів та запропоновані нові конструкції їх та методи підвищення довговічності. Основні

результати цих досліджень представлені в монографіях [Прейс Г. А. Повышение износостойкости оборудования пищевой промышленности [кол. монографія] / Г. А. Прейс, Н. А. Сологуб, А. И. Некоз. – М. : Машиностроение, 1979.– 208 с. Сухенко Ю. Г. Технологічні методи забезпечення довговічності обладнання харчової промисловості: монографія / Ю. Г. Сухенко, О. І. Некоз, М. С. Стечишин. – К.: «Елерон», 1993. – 108 с.]

Якщо на перших етапах розвитку школи НУХТ дослідження обмежувались в основному проведенням випробувань у різноманітних технологічних середовищах і вибором найбільш зносостійких матеріалів (в основному сплавів) у конкретних умовах роботи деталей, то в подальшому дослідження було спрямовано на більш ефективні методи забезпечення довговічності, а саме – застосуванням зносостійких покриттів. Каретніковим В. В. були вивчені і запропоновані промисловості довговічні полімерні покриття для підвищення корозійної стійкості деталей ряду галузей харчової промисловості. Точковим В. О. був створений оригінальний стенд з двома обертовими дисками, який був включений у технологічну магістраль цукрового заводу і який дозволяв досліджувати кавітаційну стійкість зразків безпосередньо в технологічних середовищах цукрового виробництва. Ним були проведені дослідження кавітаційної стійкості різноманітних термодифузійних покриттів у цих середовищах. Проведені натурні випробування робочих коліс відцентрових насосів підтвердили високу ефективність застосування термодифузійного хромування та хромосиліціювання в хімічно активних середовищах цукрового виробництва. Некозом О. І. та Стечишином М. С. були запропоновані методи інтенсифікації термодифузійних процесів при нанесенні зносостійких покриттів, заснованих на використанні попереднього наводнювання. Дослідження Рудика О. Ю. були націлені на використання іонного азотування для підвищення зносостійкості вузлів тертя обладнання цукрових заводів. На основі результатів виконаних лабораторних досліджень, узагальнених у докторській дисертації Сухенка Ю. Г., під його керівництвом була спроектована та введена в експлуатацію виробнича дільниця підвищення зносостійкості на ремонтно-механічному заводі системи споживчої кооперації. Результати використання різноманітних технологій (в тому числі плазмового напilenня) поверхневого зміцнення для підвищення довговічності деталей обладнання харчової промисловості були узагальнені в монографії [Сухенко Ю. Г. Технологічні методи забезпечення довговічності обладнання харчової промисловості : [монографія] / Ю. Г. Сухенко, О. І. Некоз, М. С. Стечишин. – К. : «Елерон», 1993. – 108 с.]

У той же час набувають розвитку методи поглибленого вивчення поверхневих явищ при зношуванні внаслідок контактної взаємодії поверхонь тертя з технологічними середовищами. Зокрема Портер А. Й. за участі Сологуба М. А. вивчав вплив корозійно-активних середовищ харчових виробництв на дислокаційну структуру поверхневих шарів при

терті в цих середовищах. Дослідження В. М. Криворотька присвячені розробленню методів підвищення довговічності прецизійних плунжерних пар паливної апаратури з використанням ємкісних методів визначення товщини і будови поверхневих адсорбційних шарів. Особливе місце в подальших дослідженнях займає вивчення трибохімічних процесів при терті в різноманітних середовищах. З цією метою на кафедрі під керівництвом проф. Прейса Г. О. за участі Дзюба О. Г. був розроблений потенціостатичний метод дослідження цих процесів. При кавітаційно-ерозійному зношуванні цю методику при участі Некоза О. І., застосували Білий В. І., Стечишин М. С. та Кондрат Здзіслав (аспірант з Білостоцької політехніки – Польща). Потенціостатичний метод дослідження процесів тертя та зношування набув визнання серед трибологів і ця методика використовувалась при співпраці з Фізико-механічним інститутом ім. В. Г. Корпенко, Національним авіаційним університетом, Хмельницьким національним університетом, С.-Петербурзьким університетом водних комунікацій, Білостоцькою політехнікою (Польща) та ін. На основі використання цього методу Некозом О. І. та Стечишином М. С. кількісно визначена інтенсивність окремо корозійного та механічного факторів та підтверджена кінетична природа руйнування при кавітаційно-ерозійному зношуванні в різних технологічних середовищах. У дослідженнях Ястреби С. П. та Некоза О. І. набули подальшого розвитку ідеї проф. Прейса Г. О. про хіміко-механічне зношування деталей обладнання олієжирового виробництва. Зокрема, ними методом ОЖЕ-спектроскопії досліджено склад поверхневих наночарів при зношуванні деталей олійних пресів, показано, що формування цих шарів відбувається за участі елементів, які є складовими технологічного середовища.

Наукові досягнення створеної проф. Прейсом Г. О. наукової школи набувають визнання не тільки в Україні та СНД, а також у західноєвропейських країнах. Крім згаданого вже аспіранта Кондрата З. з Білостоцької політехніки успішно захистив докторську дисертацію докторант Лукасік Кшиштоф з Люблінської політехніки (Польща) – науковий консультант Некоз О. І. Темою його досліджень було вивчення процесів зношування та підвищення довговічності елементів клапанних гомогенізаторів для молочної та консервної промисловості. Одержані ним результати досліджень узагальнені в монографії [Чернец М. Повышение износоустойчивости и долговечности элементов гомогенизаторов давления : [монографія] / М. В. Чернец, К. Лукасик, А. И. Некоз. – Дрогобыч : Коло, 2004. – 268 с.].

Враховуючи наукові досягнення та авторитет кафедри матеріалознавства та технології машинобудування НУХТ (нині кафедра машинобудування, стандартизації та сертифікації обладнання) під керівництвом проф. Прейса Г. О., та завдяки його наполегливості і організаційним зусиллям кафедрі було доручено і в 1972 році втілено в життя мрію науковців-трибологів: організовано випуск науково-технічного збірника «Проблеми тертя та зношування». До кінця свого життя Прейс Г. О. був головним

редактором збірника, який залишається визнаним авторитетним науковим виданням у галузі трибології, як в Україні, так і поза її межами, і який зараз видається Національним авіаційним університетом. У поточному році минає чверть століття, як пішов від нас Георгій Олександрович Прейс (а 30 листопада 2013 року йому виповнилося б 103 роки). Його учні на створеній ним кафедрі і в інших наукових центрах продовжують розпочату ним справу, а продовження випуску та науковий авторитет збірника «Проблеми тертя та зношування» (зараз журнал «Проблеми тертя та зношування») є найкращим втіленням пам'яті видатного вченого і педагога.

УДК 539.3:621.891:512.644

Кузьменко А. Г.

НОВАЯ КОНЦЕПЦИЯ В ТРИБОЛОГИИ

1. Первая концепция Крагельского – Демкина, Гаркунова – Чичинадзе.

В XX веке в СССР зародились и развивались две основные концепции в трибологии.

Сущность этой концепции заключалась в следующем: 1) все основные закономерности в контакте, трении и износе поверхностей можно построить исходя из параметров шероховатостей контактирующих поверхностей, как основного фактора, определяющего трибологические процессы; 2) универсальная аналитическая модель изнашивания может быть построена, исходя из закономерностей усталостного разрушения микронеровностей; 3) среди методов повышения износостойкости наиболее перспективный метод избирательского переноса Крагельского – Гаркунова; 4) Среди факторов влияющих на трибо- процессы главным признавалась температура с моделями и методами расчетов по Чичинадзе.

2. Вторая концепция Костецкого – Бершадского или концепция вторичных структур.

Основой этой концепции являлись утверждения:

1) Главным механизмом изнашивания признавались химико – механические процессы на контактных поверхностях: окисление, фазовые превращения.

2) Главным фактором влияющим на износ признавалась скорость окислительных процессов на изнашиваемых поверхностях.

3) Главной закономерностью изнашивания признавалась зависимость износа от скорости скольжения, имеющая максимум в некоторой экстремальной точке.

4) Главным способом борьбы с износом принимался метод определялся оптимальной скорости скольжения.

5) Главным идеологическим принципом принимались утверждения о невозможности построения общих физико-математических моделей изнашивания.

3. На протяжении почти 50 лет на территории СССР длилась «холодная война» между первой и второй концепциями, свойственная, как политикам, так и учёным тех времен.

Костецкий Б. И. в принципе не признавал «кучерявые» формулы Крагельского И. В., Крагельский И. В. не признавал важности «корыто-образной» кривой Костецкого Б. И.

Революция 1993 г. загасила эту «холодную войну», как и все другие, холодным душем изъятия финансовых средств, выделяемых на науку.

4. Представленные здесь новые знания в трибологии, можно полагать как **Третью** концепцию по трибологии, рожденную на территории СНГ.

1) Главным признаком этой концепции является признание контактной механики, как раздела механики твердого деформированного тела, основой для создания современной трибологии.

2) Иными словами признание того, что главным фактором, влияющим на трение и износ являются контактное давление и напряжение трения.

3) Главными задачами изначально являются контактные задачи для узлов трения с определением силовых, кинематических и температурных характеристик в контакте, с учётом трения, износа и смазки.

4) Основным способом построения моделей изнашивания является не теоретический, а экспериментальный метод, разработанный на основе решений контактных задач с учетом методов испытаний на износ.

5) В ряду задач повышения износостойкости, одним из главных является метод экспериментальной оценки эффективности борьбы с износом.

Это только основные укрупненные положения концепции.

Детально с положениями и результатами можно ознакомиться используя материалы сайта: new-tribology.abra.ru

УДК 539.3

Чернец М. В., Чернец Ю. М.

ДО ПИТАННЯ ПРО ВПЛИВ УМОВ ЗАЧЕПЛЕННЯ ЗУБІВ ПРЯМОЗУБОЇ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ПЕРЕДАЧІ НА КОНТАКТНУ МІЦНІСТЬ ПРИ ВИСОТНОМУ КОРИГУВАННІ

Зубчасті циліндричні передачі знаходять дуже широке застосування в констукційному машинобудуванні та інших галузях. Найпростішими з них за констукцією є прямозубі передачі. У зачепленні при передачі крутного моменту водночас спочатку перебуває дві пари зубів (на вході у нього), потім після певного кута повороту коліс одна пара, а надалі ближче до виходу із зачеплення знову реалізується двопарне зачеплення. Цілком зрозуміло, що у фазі однопарного зачеплення максимальні контактні

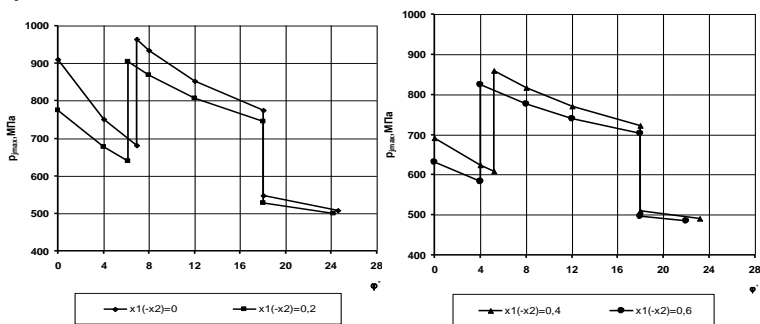
тиски є суттєво вищими. Зона однопарного зачеплення у загальному характеризується коефіцієнтом торцевого перекриття ϵ_a . Однак використати його безпосередньо для оцінки величини вихідних контактних тисків p_{\max} у зачепленні від входу зубів до їх виходу з зачеплення неможливо.

Відповідно у [Чернець М. В. Вплив умов зачеплення зубів прямозубої конічної передачі на їх контактну міцність // Проблеми трибології. – 2013. – № 3. – С. 109–113.] наведено методику розрахунку точок (кутів) переходу від двопарного до однопарного і знову до двопарного зачеплення. Для визначення максимальних контактних тисків $p_{j\max}$ при вибраних значеннях $j = 0, 4^\circ, 8^\circ, \dots, \varphi^\circ$ кутів згідно методу [Чернець М. В. Вплив умов зачеплення зубів прямозубої конічної передачі на їх контактну міцність // Проблеми трибології. – 2013. – № 3. – С. 109–113.] використано відому формулу Герца.

Розв'язок контактної задачі проведено при таких даних: $m = 3$ мм – модуль зачеплення; $u = 4$ – передавальне відношення; $n_1 = 700$ об/хв частота обертання вала; $z_1 = 20$ – кількість зубів шестерні; $P = 5$ кВт – потужність; $b_w = 30$ мм – ширина зубчастого колеса; матеріали коліс – шестерня – азотована сталь 38ХМЮА, колесо – гартована сталь 40Х; $E = 2.1 \cdot 10^5$ МПа – модуль Юнга, $\nu = 0.3$ – коефіцієнт Пуасона.

Результати оцінки $p_{j\max}$ наведено на рисунку.

У некоригованому зачепленні тиски є найвищими як у зонах двопарного (ліва та права частини графіків), так і у зоні однопарного зачеплення (центральна частина). Тобто при збільшенні $x_1 = -x_2$, $p_{j\max}$ знижується, що є позитивним.



У точках переходу $p_{\max}^{(1)} / p_{\max}^{(2)} = 1,42$ рази. Контактні тиски $p_{\max}^{(1)}$ є вищими, ніж в т. $j = 0$ (на вході у зачеплення), де реалізується двопарне зачеплення. Із збільшенням коефіцієнтів коригування зачеплення зменшується коефіцієнт торцевого перекриття зубів, що спричиняє збільшення зони однопарного зачеплення, а це негативно позначається, як показали подальші дослідження, на ресурсі передачі.

ПІДВИЩЕННЯ ТРИБОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТИТАНУ VT1-0 АЗОТУВАННЯМ У ТЛІЮЧОМУ РОЗРЯДІ

Титан та його сплави завдяки ряду важливих характеристик (високій відносній міцності, корозійній стійкості, малій питомій вазі тощо) мають переваги над сталями і знаходять широке застосування в багатьох галузях промисловості і, зокрема, в авіабудуванні, медицині тощо.

На сьогодні одним з найважливіших напрямків в медицині є вдосконалення та збільшення довговічності ендопротезів тазостегнового та колінного суглобів людини. Для виготовлення ендопротезів суглобів застосовуються різні матеріали: метали, полімерні матеріали, кераміка. Металеві ендопротези виготовляють з високолегованих нержавіючих сплавів. Недоліки в застосуванні таких матеріалів є попадання легуючих елементів хрому, молібдену, вольфраму, ванадію та інших елементів в кров людини, що є шкідливим для організму людини.

Перспективним для виготовлення ендопротезів є застосування титану VT1-0, який за механічними характеристикам найбільш близький до властивостей кістки людини, не містить у своєму складі шкідливих для організму людини легуючих хімічних елементів і має велику стійкість в агресивних середовищах, у тому числі і в організмі людини. Але трибологічні властивості титану VT1-0 значно нижчі в порівняно з нержавіючими сталями, що не дозволяє використовувати його у сфері хірургії для протезування суглобів людини без зміцнення поверхні. Інтенсивність зношування титану VT1-0 майже в 5 разів вища порівняно з нержавіючими сталями. Тому важливим є пошук ефективних технологій зміцнення поверхні титану для підвищення його трибологічних властивостей.

Для підвищення зносостійкості титану VT1-0 нами запропоновано технологію зміцнення поверхні методом азотування в тліючому розряді в безводневих середовищах. Така технологія дозволяє не тільки підвищувати твердість поверхні тертя за рахунок утворення дифузійного покриття з нітридів титану високої твердості до 1800 HV, але і виключити їх водневу крихкість, що значно підвищує зносостійкість поверхні тертя.

У процесі ходьби дорослої людини на поверхні тертя в суглобах діє тиск до 4 МПа і швидкість ковзання до 0,5 м/с. Нами проведено експериментальні дослідження зносостійкості і довговічності пари тертя титан-титан, виготовленої з технічно чистого титану VT1-0, після зміцнення поверхонь тертя азотуванням у плазмі тліючого розряду в безводневих середовищах (суміші з аргоном) за різними технологічними режимами і вибору оптимальних режимів зміцнення, що забезпечують максимальну зносостійкість в умовах близьких до реальних умов роботи

суглобів людини.

Дослідження проводилися при тиску 4 МПа і швидкості ковзання 0,4 м/с у середовищі плазми крові, яка за своїми властивостями близька до властивостей змащувальної рідини, що виділяється в суглобах людини. При цьому технологічні параметри процесу азотування змінювалися в таких межах: температура T – 640-680 °С, тиск P – від 240 до 400 Па, об'ємний вміст аргону в суміші $N_2 + Ar$ – від 45 до 95 %. Час дифузійного насичення у всіх дослідах приймалося 6 годин.

Товщина азотованого шару на поверхні титану змінювалась від 150 до 300 мкм залежно від технологічних параметрів процесу азотування. При цьому змінювався фазовий склад покриття та градієнт твердості по глибині азотованого шару.

Дослідження показали, що зносостійкість поверхні титану залежить від властивостей азотованого шару, який можна змінювати технологічними параметрами азотування. Найбільшу зносостійкість і довговічність азотованого шару одержано при його товщині 300 мкм, твердості поверхні 1600 HV і фазовому складі поверхні 10 %TiN + 50 %Ti₂N + 40 % α -Ti(N). Середня інтенсивність зносу азотованих зразків складала $1,2 \cdot 10^{-8}$ і була на порядок меншою порівняно із неазотованими зразками та в 1,8 рази меншою порівняно із зразками із нержавіючої сталі 1X18H9T. Сумарний шлях тертя до зношування азотованого шару складав $2,5 \cdot 10^5$ м.

Таким чином, запропонована технологія зміцнення титану ВТ1-0 є ефективною і дозволяє успішно застосовувати цей матеріал для виготовлення ендопротезів. Властивості азотованого шару можна оптимізувати за параметром мінімальної інтенсивності зношування для різних умов тертя.

УДК 621.891

Диха О. В., Сорокатий Р. В., Скрипник Т. К.

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ УМОВ РОБОТИ ВАЛУ ТУРБОКОМПРЕСОРА ТКР-7Н1

Для розрахунково-експериментальної оцінки зносостійкості валу роторного вузла турбокомпресора ТКР-7Н1, призначеного для наддуву дизельних двигунів внутрішнього згоряння, необхідні дані про діючі на робочі поверхні валу контактні навантаження.

Сутність наддуву полягає в тому, що якщо в циліндри двигуна подати велику масу повітря, не збільшуючи об'єму циліндрів, то в них можна спалити більшу кількість палива і отже збільшити потужність двигуна. Тобто турбокомпресор використовують для примусової подачі в циліндри двигуна збільшеного заряду повітря. Це сприяє поліпшенню процесу

згоряння палива, підвищенню середнього індикаторного тиску, об'ємної потужності і зменшенню питомої маси дизеля без істотної зміни його габаритних розмірів.

Сталевий вал ротора турбокомпресора обертається в бронзовому підшипнику (Бр. О10С10). Базовий матеріал валу – сталь 40Г або 40Х, термообробка – гартування СВЧ на глибину 1 ... 1,8 мм, твердість HRC 35 ... 40. Підшипник встановлений у центральній бобищі середнього корпусу з певним зазором. Підшипник турбокомпресора змащується оливою, яка поступає по каналу, просвердленому в середньому корпусі. Необхідна товщина шару оливи в зазорі забезпечується примусовим тиском 300 ... 400 кПа.

Особливістю роботи турбокомпресора є те, що він працює при високій частоті обертання турбіни, для турбокомпресора ТКР-7Н1 $n = 40000 \dots 60000$ об/хв. Наступною особливістю є робота турбіни при високій температурі відпрацьованих газів. Гази містять хімічно активні агресивні сполуки. Ці особливості накладають істотний відбиток на працездатність і довговічність трибоспрямижень турбокомпресора. Аналіз пошкоджень турбокомпресорів показує, що близько 40 % пошкоджень є наслідком попадання сторонніх предметів на лопатки компресорного або турбінного коліс. Ще 40 % пошкоджень викликано несправністю системи мащення.

Попадання абразиву разом з оливою в підшипниковий вузол внаслідок високої частоти обертання валу турбокомпресора призводить до виходу його з ладу в результаті зносу як самого валу, так і внутрішнього отвору підшипника в бобищі середнього корпусу. Для нормальної роботи турбокомпресора дуже важливо, щоб за важких умов роботи подавалася певна кількість оливи в підшипники турбокомпресора.

Підшипниковий вузол валу ротора турбокомпресора має конструктивні особливості, що суттєво впливають на розподіл та значення величин напружень та деформацій, які характеризують напружено-деформований стан. Геометричні параметри з'єднання встановлювалися з робочих креслень деталей і вузла в цілому.

Для аналізу умов функціонування підшипникового вузла ротора турбокомпресора побудовано розрахункову схему. Робочі поверхні лопаток навантажено еквівалентними силами, які моделюють навантаження на лопатки турбокомпресора. Зовнішня поверхня втулки підшипника ковзання закріплена нерухомо.

Відповідно до розрахункової схеми в препроцесорі програмного комплексу ANSYS побудовано розрахункову скінчено-елементну модель.

Для створення сітки скінчених елементів валу та втулки використані трьохмірні елементи SOLID187. В якості контактної поверхні вибрано поверхню втулки, а цільовою – поверхня валу. Для створення контактних поверхонь цільової поверхні використані елементи TARGE170, а контактної – CONTA174. Для розв'язку контактної задачі вибрано модифікований метод Лагранжа, який забезпечує високу точність при досить швидкій збіжності результатів.

Аналіз еквівалентних напружень та деформацій вузла показує, що при такій схемі навантаження відбуваються суттєві деформації вала, які є причиною виникнення максимальних еквівалентних напружень в місцях контактної взаємодії вала та втулки.

Деформації вале викликають характерну форму розподілу контактного тиску коли максимальні значення якого виникають у місцях перегину вала на торцях втулки.

Результати розрахунків напружено-деформованого стану вузла вказують, що для аналізу працездатності підшипникового вузла необхідно враховувати конструктивні особливості, які призводять до прогину вала та відповідно до того, що осі вала й втулки підшипника ковзання будуть розташовані під деякими кутами. Така конструктивна особливість підшипника ковзання істотно впливає на напружено-деформований стан і характер його зміни в процесі функціонування конструкції, що у свою чергу впливає на перебіг процесу зношування. При цьому діапазон робочих контактних тисків складає 4 ... 8 МПа.

УДК 621.73:621.7.001

Kukhar V. V., Vasylevskyi O. V.

PHYSICAL MODELING OF TECHNOLOGICAL CHARACTERISTICS AT STRETCH FORGING OF BILLETS WITH ROTATION IN COMBINED DIES

Processes of forging of shaft forgings are very labour-consuming, and the operations of stretch forging occupy the major share of machine time of production. Changing of the sizes of the cross section and length of the forging at stretch forging is produced with different working tools: flat dies, convex dies, cut-out dies, combined dies. The calibers of cut-out and combined dies can have rhombic or radius (round) profile. Forgings shafts, depending on the operating conditions of these products are subdivided into groups of process with a particular procedure of a mechanical test. Currently an active development of innovative ways of forging, which let intensify the deformations at low coefficients of the total reduction of cross-section, and the main mass of them is connected with the implementation of macro-shifts of work-piece material. From the perspective of waste minimization in further fine-tuning to the size of forgings parts it is necessary to comply with the geometrical precision of forgings of round cross-section by machining operations.

The use of a universal tool allows reaching a wider range of forged products; the research should be aimed precisely to development of innovative modes of forging of billets spread in manufacturing combined dies. The

development of scientifically well-founded recommendations in the choice of rational modes of stretch forging in these dies at the expense of implementing of the schemes of intense deformations requires an experimental study of the influence of quantities of reduction and angles of rotation of the billet around the longitudinal axis to the geometric characteristics of the cross-section and study of the material strain to ensure the production of forging-parts with an elongated axis and with the necessary performance exploitative characteristics.

The aim of the present study is an experimental study of the forming and force parameters at different modes of stretch forging of cylindrical billets with rotation around the longitudinal axis in combined dies.

To achieve this aim the task has been formulated. To determine the coefficients of reduction of billets, changes in the geometric characteristics of the cross-section from the point of view of its approach to a round shape and distribution of the force parameters on modes of stretch forging with different parameters of upsetting and angles of rotation of billets around the longitudinal axis.

Six samples with diameter $D_0 = 50$ mm and length $L_0 = 100$ mm were produced from antimonide lead (2 % antimony). Samples were produced by extrusion and were labeled at one end, and at the other end marks were applied to perform rotation around the longitudinal axis of the work-piece at fixed angles $\Delta\varphi = 30^\circ, 60^\circ$ and 90° . The model of cut-out dies were made for laboratory experiments in scale 1 : 10 to the size of a productive nature: width $B_m = 30$ mm, the radius of the notch in the lower die $R_m = 30$ mm. The material of dies is steel 45 (0,45 % carbon). These dies were fixed in a stamp block, mounted on a universal testing machine (0.2 MN), and carried out the deformation of lead samples with the entire width of the die in the middle of the length of the work-piece (which corresponds to the amount of feed $\Delta L = 30$ mm, the relative feed rate $\psi = \Delta L / B_m = 1.0$).

In the first group of samples («0», «1», «2») varying of the rotation angle $\Delta\varphi$ was performed at a fixed value of compression, and in the second group of samples («3», «5», «8») varying with the magnitude of compression Δd was performed at a fixed tilting of rotation angle. For determination of technological parameters were used few methods: a – the calculation method, b – the experimental and computational method, c – the experimental method with computer processing of images.

The technique of experimental studies of form changing and power mode of stretch forging of a billet with rolling in combined anvils was designed and implemented, based on the results of analysis of requirements for forgings shafts. The method of forging determining on the basis of experimental counted determination of the values of the finishing area of cross-sectional forging relative to the forging stretching, in height of cut out template and computer

processing of scanned images of cutting out from the deformed part of the work piece, applicably to the processes of pulling of billets in combined anvils was further developed. The laws of change of power parameters and geometric characteristics of work pieces at stretching with rolling in combined anvils with different values of reduction and angles of rotation of work pieces around the longitudinal axis were adjusted. The conclusion was made, requiring a perspective study by checking the internal layers of the work piece, optimal modes of stretch forging with rolling in combined anvils from the point of view of achievement the best geometric characteristics of the cross-section of the forging. In according to method for produced of forging parts with shapes of cross-sections most neared to round pressing during stretch forging conducted to degrees of deformation in diapason 5...12 % with rotation after every stretch mode by angle 80...90°. Largest angle of rotation of rod billet securing for slender upsetting degree and for relative giving steps from 0.5 to 0.7.

УДК 621.78/(66.088+537.52+66.046)

Соколова Г. М., Пастух І. М.

СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЙ АЗОТУВАННЯ У ТЛІЮЧОМУ РОЗРЯДІ

Азотування як технологія модифікації поверхні має безліч різновидів, однак, враховуючи все зростаючу важливість впливу на вартість обробки енергетичного фактора, надзвичайно перспективним слід визнати азотування в тліючому розряді. Технологія реалізується в розрідженому газовому середовищі; головним процесом, що перетворює поверхню, є дифузія, а енергетика не тільки цього, а й супутніх субпроцесів забезпечується тліючим розрядом.

Найбільш широко використовується технологія азотування в аміачних газових середовищах, що має причиною наслідування традицій пічного азотування. Проте результатом цього варіанта процесу є негативне явище водневого окрихчення, хоча показники твердості при цьому можуть бути і вищими. Іншим негативним наслідком що не далі, то все менш допустимим, є екологічна небезпечність процесу. Перелік тільки цих недоліків обґрунтовує перспективність безводневого азотування в тліючому розряді.

Зберігаючи всі основні переваги азотування у водневомістких середовищах, безводневе азотування підвищує пластичні властивості поверхні з мінімальним розміщенням основи, додатково знижує витрату енергії та матеріалів, поліпшує умови праці і є екологічно абсолютно

чистим. Останнє особливо важливо, якщо врахувати, що в найближчій перспективі аміак у хіміко-термічній обробці може бути віднесений до отруйних речовин з неминучою заборонаю застосування його для зазначених цілей.

Модифікація поверхні з використанням як активатора тліючого розряду є сукупністю кількох конкуруючих субпроцесів: утворення нітридів, дифузії азоту в глибину поверхні та її розпорошення. Стимулювання або, навпаки, пригнічення будь-якого з них шляхом зміни параметрів технологічного режиму, корінним чином впливає на формування поверхневого модифікованого шару. Регулюючи співвідношення умов для головних субпроцесів на поверхні металу, можна отримати модифікований поверхневий шар з різними властивостями: більш твердий, більш пластичний, з необхідною глибиною перетворення поверхні, а також з необхідними антифрикційними параметрами, корозійною стійкістю і т. п.

За характером взаємозв'язку параметрів технологічного режиму азотування процеси поділяються, насамперед, на технології з взаємопов'язаними і незалежними параметрами. Параметри технологічного режиму поділяються на енергетичні (напруга, щільність струму, іноді питома потужність) і режимні (температура, тиск і склад газового середовища). У випадку, коли параметри режиму взаємопов'язані (який є переважно застосовуваним), енергетичні характеристики не можуть вибиратися довільно. Причиною цього є те, що для підтримування певного технологічного режиму, наприклад температурного, необхідно дотримуватись певного співвідношення напруги, струму (питомого струму), тиску та складу газового середовища. Очевидно, що зазначена умова істотно знижує керованість процесу модифікації. І лише при азотуванні з автономними (незалежними один від іншого) параметрами режиму відкриваються широкі додаткові можливості як для інтенсифікації процесу, так і для якісного керування наслідками модифікації. У цьому випадку, наприклад, незалежно від умови підтримування температури можливе пригнічення або, навпаки, інтенсифікація тих чи інших субпроцесів, а через них – створення різних структур модифікованого шару.

Енергетичний аналіз факторів впливу на основні субпроцеси азотування в тліючому розряд вказує на можливість реального і оперативного управління модифікацією із застосуванням досліджуваної технології шляхом автономного (незалежного) комбінування параметрів режиму. Важливим для практики застосування технології аспектом є можливість проектування або оптимізації параметрів режиму залежно від необхідних відповідно до вимог експлуатації характеристик модифікованої металевої поверхні.

ОБҐРУНТУВАННЯ ПОВЕДІНКИ МОЛЕКУЛ МАСТИЛЬНОГО СЕРЕДОВИЩА ТА ФОРМУВАННЯ ЙОГО ШАРУ НА ПОВЕРХНІ ЕЛЕМЕНТІВ ТРИБОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Рідкі мастильні середовища за структурою можна умовно поділити на класи: ізотропні рідини; рідкі кристали, для яких характерна впорядкованість в усьому об'ємі рідини; епітропні рідкі кристали (ЕРК), молекули яких недостатньо мезогенні, проте під впливом поля твердої поверхні трибоелемента (ТЕ), або зовнішнього фізичного поля, здатні утворювати орієнтаційно впорядкований пристінний шар (ОВПШ), що поширюється вглиб на відстань декількох сотень молекулярних шарів.

Наведено аналіз існуючих моделей, що пояснюють властивості рідких мастильних середовищ: двокомпонентна статистична модель на основі димерів складних молекул, модель Ізинга, модель Ландау-де Жена та модель Майєра-Заупе.

Показано, що використавши уявлення про димери, їх типи (симетричні, несиметричні, органічні, неорганічні) шляхом аналізу вільної енергії, як функції температури і відстані від твердої поверхні ТЕ можна обґрунтувати можливість виникнення ЕРК мастильних середовищ, у тому числі на прикладі композиційних олив, тобто олив з додаванням присадок і добавок, поблизу неї. Доведено, що в рамках теорії і моделі Майєра-Заупе можна пояснити вплив поверхневих сил твердої поверхні ТЕ на орієнтаційну впорядкованість прилеглих до неї тонких шарів мастильного середовища, оскільки вона, діючи електромагнітним полем, індукує орієнтаційну впорядкованість у надтонкому прошарку мастильного середовища, а далі параметр порядку переноситься за глибиною міжмолекулярною взаємодією.

Особливий тип поведінки параметра порядку поблизу межі мастильного середовища з поверхнею ТЕ пояснюється наявністю побічного мінімуму вільної енергії. Такий стан реалізується, якщо мастильне середовище недостатньо мезогенне, але знаходиться дуже близько до переходу в нематичну фазу. В цьому випадку досить невеликого анізотропного притягання молекул оливи до поверхні ТЕ, щоб метастабільний нематичний стан проявився на певній відстані. Показано, що цей стан може переноситися на достатньо велику відстань від поверхні ТЕ завдяки взаємодії її молекул мастильного середовища і перехід його ізотропної фази в нематичну можна описати теорією Майєра-Заупе.

Що стосується переходу мастильного середовища з нематичного в смектичний стан, то перші теоретичні обґрунтування наведені в роботах К. Кобаяші і Мак Мілана, в яких розглянуто розклад міжмолекулярного

потенціалу в ряд Фур'є за векторами оберненої ґратки і потенціал представлено неперіодичним і заданим у нескінченній області. В цій роботі враховано недоліки цих теоретичних обґрунтувань: обмеження першим доданком, відсутність фізичного змісту розкладу по коефіцієнтам і те, що глобальною проблемою в цій задачі є встановлення відповідності між функцією розподілу і молекулярним потенціалом.

Функції розподілу і параметри смектичного порядку мають симетрію потенціалу відносно нематичного порядку, що дало можливість перейти від інтегрування потенціалу по об'єму до інтегрування по сферичним поверхням з центром у середині молекули. Введено також апроксимацію молекулярного потенціалу, коефіцієнти розкладу якого наділені фізичним змістом і їх можна оцінити у наближенні до реальних молекул.

Показано, що при розгляді переходу нематичної фази мастильного середовища в смектичну можна використати теорію і модель Майєра-Заупе.

Виявлено, що поведінка параметрів порядку переходу з ізотропної фази в нематичну подібна поведінці матеріалу ТЕ при фазовому переходу (ФП) другого роду, а при переході із нематичної фази в смектичну – ФП першого роду. Температурний розрив між цими ФП збільшується. Розглянуто випадок поведінки параметрів порядку, коли перехід з нематичної фази в смектичну стає безперервним. Спостерігається і граничний випадок, коли відразу відбувається перехід з ізотропної фази в смектичну, минаючи нематичну фазу мастильного середовища. Відмінності у ФП можна пояснити відмінностями у співвідношеннях між апроксимованими коефіцієнтами для ефективного міжмолекулярного потенціалу.

ОВПШ мастильного середовища виникають і існують завдяки дії сукупності поверхневих далекодіючих сил і анізотропно-молекулярній взаємодії, як у самому мастильному середовищі, так і його молекул з твердою поверхнею. Наявність ОВПШ і їх властивостей забезпечує сприйнятливий режим тертя, підвищення зносостійкості матеріалів ТЕ та зниження коефіцієнта тертя. При створенні моделі граничного ОВПШ композиційної оливи враховували такі фактори як: наявність неоднорідностей товщини шару, різноманітність форм молекул можливих трибоактивних присадок, конкурентна роль їх розчинника, відмінність властивостей матеріалів ТЕ, орієнтуюча та дезорієнтуюча ролі зсувних процесів у шарі оливи та ін.

Оскільки утворення стійкого зв'язку молекул ОВПШ композиційної оливи з поверхнею тертя носить імовірнісну природу, то його формування, з певною структурою, також має випадковий характер. Виявлено, що при формуванні багатшарових ОВПШ у першу чергу виникають шари такої структури і з такими молекулами, ймовірність утворення зв'язків яких найбільша. Разом із тим побудована модель формування ОВПШ композиційної оливи відображає лише його кінетику,

не враховуючи зміну властивостей композиційної оливи та стану, а також можливі її хімічні реакції з поверхнею тертя деталі, що потребує подальших теоретичних та експериментальних досліджень.

УДК 621.891

*Кіндрачук М. В., Лучка М. В.,
Лобурак В. Я., Гуменюк І. А.*

ЗНОСОСТІЙКІСТЬ ЯК ЕНЕРГЕТИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА МІЦНОСТІ МАТЕРІАЛУ В ЗОНІ ТЕРТЯ

Питання поверхневого зміцнення конструкційних матеріалів займає чільне місце у загальній проблемі підвищення надійності та довговічності деталей машин, ресурс роботи яких визначається в основному їх опором до конкретного виду контактної взаємодії. Вирішення задач контактного руйнування значною мірою визначається ефективністю захисту поверхні деталі.

Дослідження зносостійкості матеріалів як експериментальним, так і теоретичним методом приводить до висновку, що руйнування є заключною фазою складного багатоетапного процесу пошкодження, що закономірно розвивається на атомарному та мезоскопічному рівнях задовго до появи зовнішньо спостережуваних проявів руйнування і є неперервним процесом збільшення внутрішньої енергії кристалічної ґратки. Разом з тим, міцність шару поверхні тертя залежить від структури і, в першу чергу, зернистості фаз у зоні тертя. Такі дослідження набувають особливої цінності, коли йдеться про зносостійкість нанесених покриттів.

Модель і результати дослідження

Відомо, що внутрішня енергія системи залежить як від взаємодії атомів у кристалічній ґратці, так і від дії зовнішніх сил. Зростання з часом внутрішньої енергії кристалу при дії зовнішніх механічних навантажень у парах тертя здійснюється за законом, близьким до лінійного. З досягненням деякого критичного значення внутрішньої енергії матеріалу (енергія активації), відбувається руйнування матеріалу. Отже, руйнування є наслідком нестійкості деякого об'єму матеріалу при досягненні критичного значення густини його внутрішньої енергії.

Розглядаючи фізично нескінченно малий об'єм твердого тіла як відкриту термодинамічну систему, що знаходиться, за ustalених зовнішніх умов, у стані локальної термодинамічної рівноваги, умову руйнування матеріалу можна подати у вигляді:

$$\Delta u = u_0, \quad (1)$$

де Δu та u_0 , відповідно, – зміна молярної внутрішньої енергії системи та її молярна енергія активації руйнування. Остання з цих величин є

фундаментальною енергетичною характеристикою міцності матеріалу. Перша – накопичується у процесі тертя. При досягненні нею значення, рівного u_0 , відбувається руйнування матеріалу.

Зміна внутрішньої енергії системи описується фундаментальним рівнянням Гіббса:

$$\Delta u = T\Delta S - P\Delta V + \sum_i \mu_i \Delta w_i, \quad (2)$$

де T – абсолютна температура, P – тиск, V – об'єм, S – ентропія, μ_i – хімічний потенціал i -го компонента, молярна частка якого у системі дорівнює w_i . У загальному випадку внутрішня енергія системи змінюється внаслідок комплексного впливу різноманітних термодинамічних процесів: теплових, механічних, хімічних, дифузійних, електромагнітних та ін. З урахуванням цих факторів умову руйнування матеріалу в приповерхневому шарі пари тертя можна записати у вигляді:

$$TR \ln\left(\frac{t}{\tau_0}\right) + V_m 10^{-6} \left(\frac{\Delta\sigma^2}{2E} + \sigma \bar{\dot{\epsilon}} t\right) + \Delta u_n + \Delta g \geq u_0 \quad (3)$$

Перший доданок у (3) визначає приріст внутрішньої енергії одного мола речовини приповерхневого шару за рахунок збільшення ентропії, другий – внаслідок зростання енергії пружних і пластичних деформацій кристалічної ґратки (відповідно, перший та другий доданки виразу в дужках), третій – у результаті технологічної обробки поверхні; четвертий – через фізико-хімічні взаємодії з навколишнім середовищем. Тут R – універсальна газова стала, V_m – молярний об'єм, σ – напруження, E – модуль пружності, $\bar{\dot{\epsilon}}$ – середня швидкість непружних деформацій, t – час перебування системи в навантаженому стані, а τ_0 – період теплових коливань атомів.

Дослідження впливу ролі кожного доданку в лівій частині нерівності (3) показало, що основний внесок у процес руйнування матеріалу дає деформаційна частина, значення якої з часом монотонно зростає майже за лінійним законом.

Енергія пружних деформацій є функцією миттєвого значення напруження, а тому вона не накопичується з часом у матеріалі. Для її оцінки за наявності динамічних впливів типу періодичних навантажень у якості ефективного значення $\Delta\sigma$ приймається максимальне значення напруження σ_{\max} .

У процесі тертя та зношування акт руйнування локалізується в малому об'ємі матеріалу, який при досягненні критичних напружень відлушується і переноситься на поверхню контратіла у вигляді частинок переносу. Акумуляція їх на поверхні контратіла внаслідок адгезійного переносу призводить до утворення частинок зносу, які в подальшому відіграють роль абразиву, що переводить механізм тертя ковзання в слабоабразивне зношування, підвищуючи його інтенсивність. Критичні напруження визначаються умовами руйнування. Отже, утворення

частинок переносу відбувається за умови виконання нерівності, подібної до (3), в об'ємі відлущуваного фрагменту.

Для оцінки розмірів частинки переносу припускають, що вона обмежена півсферою радіуса $d/2$, де d – діаметр плями контакту. Тож об'єм її будемо вважати рівним $\pi d^3/12$. Якщо v – кількість молів речовини в цьому об'ємі, то умовою утворення частинки переносу є виконання нерівності

$$E_{def} \geq E_s, \quad (4)$$

де $E_{def} = \frac{\pi d^3}{12} 10^{-6} \left(\frac{\Delta \sigma_{max}^2}{2E} + \sigma_{max} \bar{\epsilon} t \right)$ – енергія деформації,

а $E_s = v \left(u_0 - TR \ln \left(\frac{t}{\tau_0} \right) - \Delta u_n - \Delta g \right)$ – енергія активації руйнування

(викришування фрагменту цього об'єму). Величина останньої визначається когезійними властивостями матеріалу (перший доданок) і зміною його внутрішньої енергії за рахунок збільшення ентропії, технологічної обробки поверхні та її фізико-хімічні взаємодії з навколишнім середовищем.

Оскільки викришування частинок пов'язане з утворенням нових поверхонь, то природно припустити, що енергія активації руйнування пропорційна до величини площі поверхні частинки переносу $S = \pi d^2/2$. Коефіцієнт пропорційності визначається когезійними властивостями матеріалу в приповерхневій зоні:

$$E_s = 2\gamma \frac{\pi d^2}{2}, \quad (5)$$

де γ – питома енергія когезії. Поклавши $\sigma_{max} = E\epsilon_{max}$, де ϵ_{max} – максимальна деформація, приходимо до висновку, що енергія деформації:

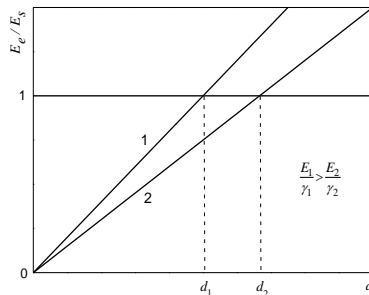


Рис. Зміна розміру частинки переміщення (d) при зміні механічних властивостей матеріалу (E – модуль пружності, γ – питома енергія когезії)

$$E_{def} = \frac{\pi d^3}{12} 10^{-6} \left(\frac{\varepsilon_{max}}{2} + \bar{\varepsilon} t \right) \varepsilon_{max} E \quad (6)$$

пропорційна величині модуля пружності E . Тоді:

$$\frac{E_{def}}{E_s} \sim \frac{E}{\gamma} d \quad (7)$$

На рис. показано залежність розміру частинок переміщення від механічних властивостей матеріалу. Тобто розмір частинки викришування залежить від модуля пружності речовини, а попадання її в зону тертя – від питомої енергії когезії.

Висновки

З аналізу (7) випливає, що умова руйнування матеріалу (4) в процесі тертя досягається швидше для частинок переносу більших розмірів.

Розмір частинок переносу визначається механічними властивостями поверхні тертя – значення його менше у твердішому (з великим значенням E), але більше в міцнішому з великим значенням γ) матеріалі.

УДК 621.891

Кузьменко А. Г., Сабадаш Б. М.

ДО ВИЗНАЧЕННЯ КОНТАКТНИХ ТИСКІВ У ПІДШИПНИКАХ КОЧЕННЯ

Найбільш поширена причина відмов підшипникових вузлів загального призначення, що працюють в автомобілях, тракторах, насосах, редукторах, станках, під'ємно-транспортному обладнанні – втомне руйнування. Поряд з цим не менш важливими є процеси зношування, що відбуваються в підшипниках кочення. Величина зносу доріжок і тіл кочення в процесі експлуатації безпосередньо впливають на довговічність підшипників кочення. Зношування підшипників кочення можна розділити на кілька видів, а саме: втомне зношування, абразивне зношування, корозійно-механічне зношування, пластичне деформування.

Також, багато ПК виходять з ладу не по втомі, а по зносу. Особливо велике зношування спостерігається в підшипниках, які працюють в умовах абразиву і високих температур.

Методів розрахунків і відповідних випробувань ПК на зношування практично немає. Це викликає проблеми при проектуванні вузлів тертя ПК. Головною причиною відсутності методів розрахунків на зношення ПК полягає у відсутності методів вирішення негерцевських контактних задач, тобто задач, у яких площа контакту співвимірна з розмірами тіл кочення і змінюється в часі по мірі зношення.

Запропоновано і реалізовано розрахунково-експериментальний метод визначення функції розподілу навантажень по тілах кочення підшипників кочення (ПК).

1. Метод заснований на вирішенні контактної задачі для ПК варіаційно експериментальним методом. В основі методу лежить діаграма, сила F переміщення центру вала u_0 , $F(u_0) = cu_0^n$ в ступеневій формі.

2. В якості розв'язаного рівняння завдання використовується рівняння рівноваги системи, що виконують на усьому процесі навантаження.

3. У результаті рішення та аналізу встановлено, що коефіцієнт концентрації навантаження по тілах кочення збігається з показником ступеня функції нагрюження – переміщення в підшипнику.

4. Порівняння теоретичного та експериментального коефіцієнтів концентрації вказує на їх практично повний збіг.

5. Висновок п 4. вказує 1) на достовірність теоретичних методів; 2) на точність і справедливість розрахунково-експериментального методу, викладеного в цій роботі.

УДК 621.193.16

Стечишин М. С., Мартинюк А. В., Білецький О. О.

КАВІТАЦІЙНО-ЕРОЗІЙНА ЗНОСОСТІЙКІСТЬ ПОЛІМЕРНИХ ПОКРИТТІВ НА ОСНОВІ ПОЛІПРОПІЛЕНУ ТА ПОЛІЕТИЛЕНУ

Розроблена методика та відповідна експериментальна установка для визначення зносостійкості полімерів та полімерних покриттів при їх мікроударному навантаженні в рідких середовищах, що виключає температурний чинник руйнування поверхонь. Останнє дозволяє отримувати показники зносостійкості полімерів і полімерних покриттів, які відповідають реальним умовам їх експлуатації.

Полімерні покриття наносили на зразки зі сталі 45 нормалізованої. На шліфовану і знежирену поверхню електростатичним методом формували шар полімеру при напруженні магнітного поля $E = 1,0$ кВ/см для поліпропілену марки 21060 (ПП) і поліетилену марки 10404-003 (ПЕ). Час нанесення покриття становив для ПП та ПЕ $\tau = 10$ хв. Встановлено, що оптимальна товщина покриття на металах складає 200...250 мкм. Тому товщина досліджуваних покриттів становила: для ПП та ПЕ біля 250 мкм. Вибір покриттів з ПП та ПЕ ґрунтується на результатах раніше проведених досліджень.

Дослідження на кавітаційно-ерозійну зносостійкість покриттів (рис. 1) показали, що обидва види покриття володіють майже однаковою зносостійкістю після трьох годин проведення досліджень. Але покриття на основі ПЕ володіють дещо більшою зносостійкістю після 1-ої та 2-ох

годин кавітації. Так, за 1 год. випробувань різниця зносостійкості становила 1,5, а за 2 год. в 1,61 разів. Причиною цього є різниця швидкостей проходження звукових хвиль у ПП і в сталевій матриці, що викликає появу відбивних хвиль, які інтенсифікують процес руйнування. Крім того, швидкість руйнування покриття ПП зменшується, а покриття на основі ПЕ, збільшується при продовженні часу кавітації. Останнє пояснюється структурними змінами в матеріалі покриття, що зумовлюють зменшення його пружних властивостей, а відтак приводять до збільшення енергії відбивних звукових хвиль (рис. 1).

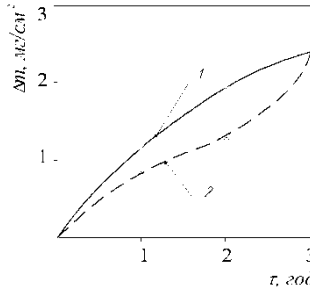


Рис. 1. Кавітаційно-ерозійна стійкість покриттів в 3 %-му розчині NaCl на основі: 1 – поліпропілену; 2 – поліетилену

Отже, аналіз даних показує, що застосування полімерних покриттів для підвищення кавітаційно-ерозійної стійкості металевих, є ефективним способом.

УДК 539.628

Чернець М. В., Чернець Ю. М.

ВПЛИВ УМОВ ЗАЧЕПЛЕННЯ ЗУБІВ ПРЯМОЗУБОЇ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ПЕРЕДАЧІ НА ЇХ ЗНОШУВАННЯ ПРИ ВИСОТНОМУ КОРИГУВАННІ

У літературі відсутні дослідження впливу умов зачеплення (дво- одно-двопарного) зубів у вказаного виду зубчастих передачах при коригуванні, зокрема висотному. В попередній доповіді показано, що у фазі однопарного зачеплення контактні тиски є більшими, ніж на вході зубів у зачеплення, де має місце двопарне зачеплення. Тому слід очікувати, що допустиме зношування буде досягатись саме при однопарному зачепленні – на вході або ж на виході з нього. Відповідно точки переходу від двопарного до однопарного і знову до двопарного зачеплення розраховувались згідно з [Чернець М. В. Вплив умов зачеплення зубів прямозубої конічної передачі на їх контактну міцність // Проблеми

трибології. – 2013. – № 3. – С. 109–113.]. У вибраних точках j , включаючи і точки переходу, проведено розрахунок лінійного зношування зубів шестерні h_{1j} і колеса h_{2j} за умови досягнення його допустимої величини h_{k*} в одній з j точок. Для цього використано метод дослідження кінетики зношування зубчастих передач [Чернець М. В., Береза В. В. Метод дослідження впливу коригування зубів на контактну міцність, зношування та довговічність циліндричних евольвентних прямозубих передач // Проблеми трибології. – 2010. – № 1. – С. 17–25.].

При розв'язку трибоконтактної задачі використано наступні дані: $m = 3$ мм – модуль зачеплення; $u = 4$ – передавальне відношення; $n_1 = 700$ об/хв – частота обертання вала; $z_1 = 20$ – кількість зубів шестерні; $P = 5$ кВт – потужність; $b_w = 30$ мм – ширина зубчастого колеса; $f = 0.05$ – коефіцієнт тертя ковзання; $h_* = 0.3$ мм – допустиме зношування зубів; граничне мащення зачеплення ольовою оливою. Матеріали коліс – шестерня – сталь 38ХМЮА, азотована, НВ 600; $\sigma_B = 1040$ МПа; $C_1 = 3.5 \cdot 10^6$, $m_1 = 2$ – характеристики зносостійкості матеріалу шестерні; колесо – сталь 40Х, об'ємне гартування, НВ 341; $\sigma_B = 981$ МПа; $C_2 = 0.17 \cdot 10^6$, $m_2 = 2.5$ – характеристики зносостійкості матеріалу колеса; $E = 2.1 \cdot 10^5$ МПа, $\nu = 0.3$.

Результати розрахунків наведено на рис. 1 для зубів колеса 2, де швидше досягається допустиме зношування, ніж зубів шестерні.

У некоригованому зачепленні (рис. 1а) h_{2*} досягається на вході в однопарне зачеплення, хоча близьким до нього є зношування зубів на вході в двопарне зачеплення ($\varphi = 0^\circ$). Однак надалі при коефіцієнтах зміщення $x_1 = -x_2 = 0,2$ максимальне зношування буде на виході зубів з однопарного зачеплення при $j = 18^\circ$.

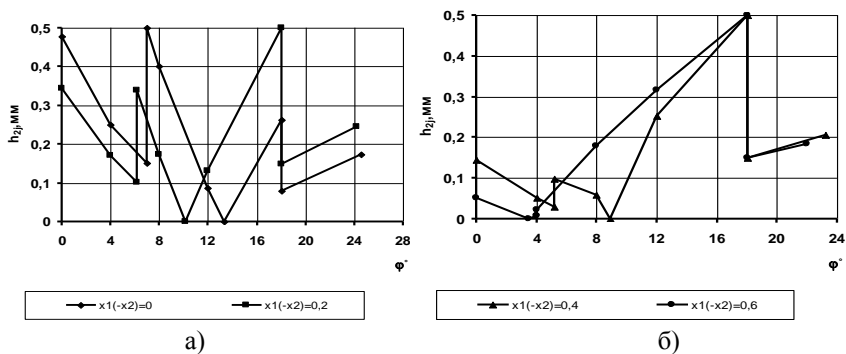


Рис. 1. Зношування зубів колеса при висотному коригуванні

У випадку $x_1 = (-x_2) = 0,4; 0,6$ (рис. 1б) у цій точці зношування суттєво перевищуватиме його величини в інших точках зачеплення. Отримані результати свідчать, що більш раціональними є передачі з коригуванням при $x = 0,1; 0,2$.

УДК 621.2.082.18

Шалапко Ю. І., Слащук В. О., Слащук О. О.

ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕРІАЛІВ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ В ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ, НА ЗНОШУВАННЯ В УМОВАХ МАЛОАМПЛІТУДНОГО ФРЕТТИНГУ

Було проведено дослідження фреттинг процесу, що виникає в контакті деталей бурової коронки з зубом. У вузлі, що розглядався, присутнє з'єднання двох деталей з кінчними спряженнями, які фіксуються нерухомо натягом (Рис. 1). У таких контактах спостерігається фреттинг процес зношування матеріалів від розшатування зуба, що посилюється в результаті великого навантаження та підвищення температури.



Рис. 1. – Бурова коронка

Досліджувалась матеріали, з яких виготовлена пара тертя: зуб – сплав ВК6, коронки – СТАЛЬ 30ХНЗМА. Експерименти проводились на установці для випробування матеріалів в умовах динамічного контактного навантаження. Метою експериментів було встановити стійкість матеріалів до малоамплітудного фреттинга. Моделювався процес проковзування одної поверхні відносно іншої, що наближений до процесу в реальних умовах експлуатації.

Контактне руйнування аналізувалось побудовою фрикційної петлі гістерезису, що дало змогу визначити коефіцієнт проковзування пати тертя. На рис. 2 показана побудована петля гістерезису процесу тертя за $5,5 \cdot 10^6$ циклів.

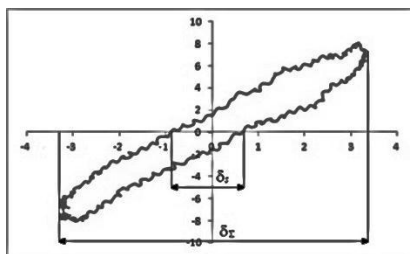


Рис. 2. – Петля гістерезису після $5,5 \cdot 10^6$ циклів

δ_s – амплітуда відносного переміщення за один цикл перебігу сили тертя, δ_σ – амплітуда крайніх точок зміщення поверхні. Коефіцієнт проковзування $Z = \delta_s / \delta_\sigma$. Після $5,5 \cdot 10^6$ циклів коефіцієнт проковзування поверхонь склав 0,12. Для порівняння, коефіцієнт проковзування контактної пари СТАЛЬ 45 – ВК6 склав 0,73, що свідчить про значне руйнування контакту.

За результатами дослідження можна зробити висновок, що така контактна пара ВК6 – СТАЛЬ 30ХН3МА стійка до зношування в умовах малоамплітудного фреттингу.

УДК 621.891:631.31

Аулін В. В., Тухий А. А.

ВРАХУВАННЯ РЕОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ГРУНТОВОГО СЕРЕДОВИЩА ПРИ ПОБУДОВІ МОДЕЛІ ВЗАЄМОДІЇ З РОБОЧИМИ ОРГАНАМИ ГРУНТООБРОБНИХ ТА ЗЕМЛЕРИЙНИХ МАШИН

Загальний об'єм земляних робіт, з яких близько 50 % виконуються з використанням одноківшових універсальних екскаваторів. Широке їх поширення пояснюється тим, що вони легко можуть бути пристосовані для різноманітних робіт за рахунок застосування змінного робочого обладнання. Однак при взаємодії ковшів і зубів екскаваторів з ґрунтом їх форма піддається значним змінам у процесі абразивного зношування.

Інтенсивність зношування залежить від зношувальної здатності ґрунту, його гранулометричного складу, напружено-деформованого стану (НДС), матеріалу самого різального елемента (РЕ) робочого органу ґрунтообробної та землерийної машини (РОГЗМ). Це безумовно дає можливість обрати такі технології зміцнення, які враховуючи локальний характер зносу, а також форму РЕ РОГЗМ, дозволять проводити процес відділення стружки від ґрунтового масиву при мінімально-можливих значеннях опору на протязі більш тривалого проміжку часу.

Розподіл напружень у ґрунті в процесі його взаємодії з РОГЗМ недостатньо досліджені, в той час виникаюча картина напружень, ліній ковзання ґрунтових частинок і їх відривання від робочої поверхні РОГЗМ має велике значення для пояснення способів обробітку і отримання залежностей, що характеризують зміну щільності твердої фази ґрунту від основних параметрів РОГЗМ і фізико-механічних властивостей ґрунту.

Реологічні властивості ґрунтів, як функції структури, належать до їх структурно-функціональних властивостей і відображають взаємодію фаз. Реологічні дослідження дозволяють розкрити внутрішню природу міцнісних властивостей ґрунтів, отримати уявлення про переважаючі типи структурних зв'язків і дати інтегральну оцінку їх міцності, між структурними складовими, що беруть участь в утворенні агрегатів ґрунту.

Теорія граничної рівноваги пластичної деформації має особливо велике значення для ґрунтів, оскільки їх розвиток приводить до втрати стійкості структури самих ґрунтів.

Залежно від величини навантаження на ґрунт розрізняють два напружених стани: дограничний та граничний. Перший характеризується цілком певними деформаціями, зміна яких може відбутися або унаслідок підвищення рівня напруження або в результаті тимчасових ефектів повзучості, консолідації та ін.

Другий стан характеризується досягненням напруження в ґрунті такої критичної комбінації, при якій встановлюється гранична рівновага між зовнішнім навантаженням і внутрішніми силами опору ґрунту. В цьому випадку найменше збільшення сил, що впливають на ґрунт, призводить до втрати ним стійкості, що викликається руйнуванням зв'язків між частинками, утворення сітки тріщин і розривів і розвитком необоротних зсувів уздовж поверхонь ковзання.

У ґрунті в природних умовах реалізуються всі основні типи дисперсних структур: коагуляційні, кристалізаційні і конденсаційні, утворюються змішані коагуляційно-конденсаційно-кристалізаційні зв'язки. Мінерали ґрунту з властивостями, що різко відрізняються від властивостей основної маси, дозволили спостерігати зміни структурних зв'язків, які відбувалися в зразках не тільки при збільшенні швидкості деформації, але і в межах однієї швидкості. Поведінка ґрунту при заданому напруженні зсуву в широкому тимчасовому діапазоні може дати чітку картину відмінностей у властивостях. Були вивчені серії реологічних кривих за різних умов зволоження і деформації. Дослідження поведінки реології черноземів показали, що всі варіанти характеризуються зміцненням в часі, яке відбувається в основному за рахунок механічного (ділатантного) ущільнення грубодисперсної фракції. Це означає, що в сухому стані ці ґрунти рихлі, а у вологому – ділатантно зміцнені. Коагуляційні зв'язки цих ґрунтів характеризуються досить малою міцністю і при деформації колоїдна частина відіграє роль мастила

між грубодисперсними частинками. Переважання грубодисперсної фракції у вигляді дрібнокристалічного кварцу і невеликий вміст гумусу створюють сприятливі умови для прояву ділатантних властивостей.

Згідно з теоріями, заснованими на контактних взаємодіях частинок, ґрунту при збільшенні частки дрібної фракції (при руйнуванні структури в процесі дослідження) число контактів збільшується, отже слід очікувати максимальної в'язкості та мінімальної стисливості ґрунту.

При впливі на ґрунт РОГЗМ спостерігається його стисливість. Стисливість ґрунтів характеризується різкою їх усадкою на початковому етапі навантаження. При зниженні температури інтенсивність протікання початкового етапу усадки спадає для всіх видів ґрунтів. У процесі обробки ґрунтів їх усадка сповільнюється, не дивлячись на зростання величини зовнішнього навантаження. На останньому етапі взаємодії відбувається стабілізація в усадці і стисливість ґрунту практично не змінюється.

Для піщаних і супіщаних ґрунтів деформація ущільнення протікає в часі швидше, ніж для глинистих і чорноземів. Оскільки глинисті ґрунти характеризуються великим водонасиченням в порівнянні з піщаними і супіщаними, то процес витискування води з них протікає значно повільніше.

Для ґрунтів, що складаються з твердих частинок, водних і повітряних включень, спостерігаються об'ємні необоротні деформації, тобто необоротна стисливість і наявність зсувних ефектів.

УДК 621.894:621.891

Кубич В. И.

ОЦЕНКА ФУНКЦИОНАЛЬНОСТИ СМАЗОЧНЫХ СЛОЕВ В ТРИБОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ «40X – (И-20А) – 40X»

Стандартизованная методика в определении смазывающих свойств не выделяет достаточно важного оценочного критерия – как временной показатель эффективного функционирования формирующихся смазочных слоев (ГОСТ 9490-75). Этот критерий может определять длительность возможного сохранения режима граничной смазки в трибологических системах, и как аргумент функции изменения коэффициента трения отражает характер поведения смазочных слоев при сменах режимов силового и нагруженного взаимодействия. На сегодня оценке проявления свойств смазочных слоев, сформированных из разносоставных смазочных материалов, при линейном контакте трущихся поверхностей в диапазонных режимах нагружения предметное внимание не уделялось. В связи с этим возникает необходимость в проведении поисковых

исследований по определению условий формирования и разрушения смазочных слоев в подвижном линейном контакте. Например, в контакте трущихся поверхностей, характерном для зубчатых передач, максимальное давление в котором может достигать 1000-1500 МПа.

Целью данной работы является установление зависимости изменения коэффициента трения в трибологической системе «40X – (И-20А) – 40X» с линейным контактом поверхностей образцов от смены скоростного параметра взаимодействия в условиях прекращения подачи смазочного материала при гранично-допустимой нагрузке.

Для проведения исследований использовались образцы-ролики, изготовленные из стали 40X наружным диаметром $D = 50$ мм, шириною $b = 10$ мм с параметром шероховатости рабочей поверхности $Ra_{1,1} = 0,08$ мкм, $Ra_{2,2} = 0,16$ мкм, $Ra_{3,3} = 0,32$ мкм и микротвердостью поверхностного слоя HRC 42-52. Триботехнических испытания проводились на машине трения модели СМЦ-2. Начальное расчетное давление по Герцу при радиусах роликов $r_{1,2} = 0,025$ м, коэффициенте Пуассона $\mu_{1,2} = 0,3$, модуле упругости стали $E_{1,2} = 210$ ГПа, полуширине линии контакта $a = 0,0365$ мм составило $p = 359$ МПа. По окончании испытаний расчетное давление в зоне трения с учетом геометрических размеров изношенной поверхности неподвижного ролика составляло 6,9 МПа, 10,3 МПа, 20,6 МПа.

Триботехнические испытания проводились в три этапа. На первом этапе контактное взаимодействие рабочих поверхностей роликов осуществлялось без смазочного материала. Это позволило установить закономерность изменения коэффициента трения по мере изнашивания ювенильных поверхностных слоев роликов. Наличие прямолинейных участков свидетельствовало о том, что имели место установившиеся процессы взаимодействия образований на поверхности и по глубине. При этом численные значения коэффициента трения предложено рассматривать как критерий начала снижения функциональной активности молекул масла, и полной ее остановкой. На втором этапе испытания проводились со смазочным материалом. При этом определялось значение нормальной силы, превышение которой приводило к невозможности влияния компонентов смазочного материала на процессы формирования слоев граничной смазки на рабочих поверхностях роликов. На третьем этапе испытания проводились со смазочным материалом. Это позволило определить зависимость изменения коэффициента трения при граничной смазке.

Проведенные триботехнические испытания позволили установить следующее. Время прирабатываемости масла И-20А при гранично-допустимой нагрузке на линейный контакт поверхностей (сталь 40X) от параметра шероховатости $Ra = 0,08-0,32$ мкм не зависит, и составляет 2 мин. При этом формируются слои граничной смазки функционально стабильные в течение 18 мин. в диапазоне частот вращения 300-1000 мин.⁻¹,

коефіцієнт трия 0,1-0,12. В отсутстві підпитки зони контакту функціональна стабільність сформованих смазочних шарів зменшується з ростом частоти вращення. Максимальне время (по условиям експеримента) збереження смазочних властивостей – 10 мин. відповідає частоті вращення 300 мин.⁻¹, коефіцієнт трия 0,12-0,13.

Предложена методика триботехнічних випробувань і оцінки результатів може використовуватися для послідуєчого дослідження трибологічного стану смазочних шарів при моделюванні контактної взаємодії поверхностей в трибологічних системах з використанням інших матеріалів.

УДК 621.762.669

Гальчук Т. Н.

ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДУ КОМПОЗИЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ НА ОСНОВІ ПОРОШКУ СТАЛІ ШХ15 ДЛЯ ВИРОБІВ АНТИФРИКЦІЙНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Розробка порошкового композиту, забезпечує високі характеристики міцності та зносостійкості, є одним із методів підвищення надійності високонавантажених вузлів тертя. Тому в роботі досліджувалась можливість розробки матеріалу на основі раціонального поєднання структурних складових композиту для вирішення цієї задачі. Композицію на основі порошку сталі ШХ15 готувалися із використанням порошоків міді ПМС-1 (ГОСТ 4960-75) та графіту ГС4 (ГОСТ/ТУ – 8295).

Експериментально встановлено для композиту порошок сталі ШХ15 – мідь – графіт, спресованого при 500 МПа, що коефіцієнт тертя послідовно зменшується із збільшенням номінального тиску під час тертя, а також, що він менший за коефіцієнт тертя спеченої сталі ШХ15 при однакових тисках, внаслідок наявності графіту і цементиту в структурі композиту. Саме наявність цих структурних складових підвищує зносостійкість композиту порівняно із зносостійкістю сталі ШХ15. Як відомо для підвищення пружних характеристик спечених матеріалів необхідно зменшити деформування і абразивне зношування. Пористі композиційні матеріали на основі порошку ШХ15 з вмістом 3-8 % міді та 1 % графіту задовольняють ці вимоги. Найбільшу границю міцності при стисканні має композиційний матеріал із вмістом порошку міді – 5 %, графіту – 1 %. Для композиційного матеріалу із вмістом вуглецю – 2 % збільшується лінійна ділянка залежності напруження від деформації. Це дає можливість прогнозувати більш високі експлуатаційні властивості виробів виготовлених із матеріалу такого складу. Подальше збільшення вмісту графіту до 3 % в композиції не покращило досягнутих характеристик – межа пружності різко зменшилась, а ступінь допустимої деформації знизився.

За результатами проведеної роботи зроблено висновок, що триботехнічні характеристики спечених порошкових матеріалів в умовах середніх навантажень в основному залежать від твердості композиції. Перевірено експериментально, що більш високу зносостійкість і найменший коефіцієнт тертя, який в середньому становить 0,09 має композит із вмістом графіту 3 % та міді 8 % при швидкості ковзання – 5 м/с, тиску – 10 МПа. Це зумовлено високою твердістю спеченого матеріалу $HV \approx 2300$ МПа і наявністю карбідної сітки по межах зерен. Запропонований оптимальний склад композиційного матеріалу: порошок сталі ШХ15 – 92-95 %; графіт – 2...3 %; мідь – 3-5 %.

УДК 539.3:621.891:512.644

Кузьменко А. Г., Мукосий В. И.

УЧЕТ ПЛАСТИЧЕСКОГО УПРОЧНЕНИЯ И АДГЕЗИИ В КОНТАКТНОЙ МЕХАНИКЕ СДВИГА СЖАТЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

1. Увеличение силы сдвига по процессу:

1) одним из фактов, устанавливаемых экспериментально является увеличение величины взаимного перемещение поверхностей при сдвиге;

Можно предложить различные объяснения этого факта;

2) первой причиной можно допустить, что с увеличением перемещения сдвига x изменяется функция распределения давлений по контактирующей поверхности, пути реализации этого допущения показана в работах.

3) второй причиной возрастание силы сдвига с увеличением перемещения можно считать наличие процесса упрочнения материала поверхностей подобно тому как это имеет место при увеличении деформации в пластически деформируемых образцах. Очевидно, что процесс упрочнения от пластических деформаций может быть на начальной стадии сдвига, когда перемещения сдвига малы и объясняются увеличением пластических деформаций от их начала при малом смещении рис. 1 а) x_1 ; до наступления процесса существенно большего скольжения x_1 микронеровностей без роста пластических деформаций рис. 1 с) без увеличения пластических деформаций.

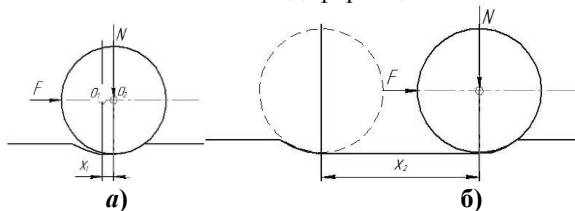


Рис. 1. Схема пластического сдвига от начала а) до скольжения x_2 б)

4) заметим, что увеличение давления на начальной стадии сдвига, может быть объяснено именно упрочнением поверхности при ее пластических деформациях;

5) третьей причиной возрастания сил трения с увеличением перемещений сдвига может быть увеличение фактической площади контакта A_a поверхностей в местах действия адгезионной составляющей напряжений трения τ_a ; при этом процесс роста A_a может наблюдать не только в начальной стадии т. е. при малых значениях x , но и при больших значениях x .

2. Стадии процесса сдвига:

1) начальная стадия сдвига с пластическим упрочнением материала поверхностей и оттого резким увеличением напряжений трения как по процессу, так по поверхности сдвига;

2) основная стадия сдвига, стадия основного скольжения, на котором рост общей силы трения объясняется ростом фактической площади контакта A_a (возможно от пластических деформаций неровностей, возможно от их износа);

3) с ростом величины $A_a(x)$ имеем рост силы F по зависимости:
$$F = \tau_0 A_a(x);$$

3. Постановка задач:

1) в данной работе ставится задача определения функции $\tau(x)$ в предположении, что причиной роста $F(x)$ является рост фактической площади контакта A_a и решающей роли адгезионной составляющей напряжений трения τ_a ;

2) на завершающей стадии этой работы предлагается разработка метода решения задачи об определении касательных напряжений на всех стадиях развития процесса при одновременном действии указанных причин.

Выводи.

1. Увеличение силы сдвига $F(x)$ с увеличением перемещений при сдвиге может быть объяснено двумя механическими процессами на поверхностях трения: 1) упрочнением материала поверхностей трения; 2) увеличением площади фактического контакта, которая приводит к увеличению силы сдвига из-за действия по фактической площади контакта адгезионной составляющей напряжений трения.

2. Для обеих случаев при увеличении $F(x)$ получены решения контактной задачи о сдвиге с получением функций изменения касательных напряжений по процессу (по перемещению x) и по поверхности.

3. Для случая влияния адгезионной составляющей на процесс расчетно-экспериментальном по $F(x)$ методом получена функция изменения фактической площади контакта с увеличением перемещения сдвига.

ОБЕРНЕНА ЗНОСОКОНТАКТНА ЗАДАЧА ДЛЯ ОЦІНКИ ЗНОСУ ЗМАЩЕНИХ ТРИБОСИСТЕМ

У трибологічних дослідженнях використовують різні методи і схеми випробувань на зносостійкість конструкційних і мастильних матеріалів: чотирикулькова схема, кулька-кільце, кулька-три ролика, конус-три ролика та інші, в яких верхній зразок обертається та притискається до нерухомих нижніх зразків із заданою силою. Недоліком цих способів є те, що результати випробувань мають якісний характер та є достовірними тільки для заданих умов випробувань, при цьому відсутні методики визначення кількісних залежностей від визначальних факторів навантаження, швидкості ковзання, в'язкості мастила для кількісного порівняння різних технологій підвищення зносостійкості. В чотирикульковій схемі випробувань верхній зразок представляє собою шарико-підшипникову кульку, що обмежує можливості використання зразків з різних конструкційних матеріалів та зміцнених за різними технологіями, крім того, результати випробувань на знос за цим способом не дозволяють отримати розрахункові залежності для визначення інтенсивності зношування.

У цій роботі розроблений спосіб визначення параметрів зносостійкості двохфакторної моделі зношування у вигляді безрозмірних комплексів за результатами експериментальних випробувань за запропонованою схемою випробувань «конус-три кульки». При цьому досліджуваний конічний зразок с кутом при вершині γ , що розташовується на трьох кульках зі сталі ШХ 15 (контрольних зразках) однакового радіусу R , розташованих на площині так, щоб вони контактували за схемою трикутника, при цьому конічний зразок обертається із заданою швидкістю ковзання V і до нього прикладена сила Q , яка передається до кожної з трьох нижніх кульок.

Через встановлений проміжок часу на поверхні конічного зразка формується кільцева доріжка зносу шириною $2a$, зношуванням кулькових зразків при цьому нехтують. Для подальших розрахунків використовують апроксимуючу степеневу залежність ширини доріжки зносу a від шляху тертя S у вигляді $a = cS^\beta$, де c і β – параметри апроксимації, які визначаються за наслідками випробувань.

Для оцінки зносостійкості конструкційних і мастильних матеріалів запропонована залежність інтенсивності зношування від визначальних факторів у вигляді:

$$\frac{du_w}{dS} = fK_w \left(\frac{\sigma}{HB} \right)^m \left(\frac{VR^*}{v} \right)^p,$$

де u_w – лінійне зношування конусної поверхні, м;

S – шлях тертя для конуса, м;

f – коефіцієнт тертя;

σ – тиск у контактї, МПа;

HB – твердість за Брінелем, МПа;

V – швидкість ковзання, м/с;

R^* – приведений радіус контактуючих тіл, м;

ν – кінематична в'язкість мастила (при 100 °С), м²/с;

K_w, m, p – параметри закономірності зношування.

Параметри зношування визначають за результатами випробувань при двох значеннях швидкості ковзання V_1 і V_2 , при яких $a_1 = c_1 S^p$, $a_2 = c_2 S^p$:

$$m = \frac{1-2\beta}{2\beta}; \quad p = (2m+2) \frac{\lg(c_1/c_2)}{\lg(V_1/V_2)}; \quad K_w = \frac{\beta c_1^{2m+2}}{f R^*} \left(\frac{3\pi HB \cos \alpha}{Q} \right)^m \left(\frac{\nu}{V_1 R^*} \right)^p.$$

Запропонований спосіб рекомендується для порівняльної кількісної оцінки різних технологій зміцнення матеріалів та випробувань зносостійких властивостей мастильних матеріалів.

УДК 662.758.2

Прунько І. Б.

АНАЛІЗ ЗНОСУ ШТОКІВ НАСОСІВ УСТАНОВОК НАФТОГАЗОВОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ТРАСПОРТУ

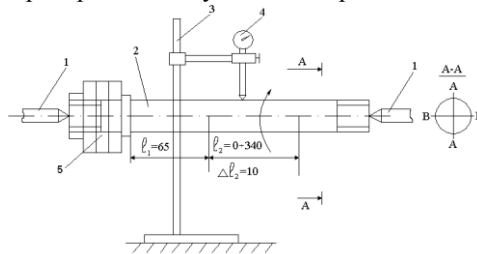
Штоки, як об'єкт дослідження, є на сьогодні найменш вивчений із змінних деталей гідравлічних нафтопромислових насосів, про що майже відсутня інформація в науково-технічній літературі, і які потребують підвищення їхньої працездатності.

Для виявлення причин несправностей гідравлічних насосів, а також характерних видів зносу і руйнування штоків бурових насосів, була використана база нафтогазового комплексу Надвірнянського і Долинського нафтогазовидобувних управлінь. Дослідженню підлягали штоки нафтопромислових бурових насосів типу 9Т, 9МГр, 11Гр, 15Гр і НП-100, які встановлені на шасі автомобілів КраЗ, КамАЗ та експлуатувалися при освоєнні, ремонті та експлуатації нафтогазових свердловин. Дослідження поверхні штоків бурових насосів під ущільнення показали, що термін служби пари «шток-ущільнення» залежить від умов експлуатації, а також параметрів промивних і закачуваних розчинів і рідин.

Було досліджено 32 штоки різних гідравлічних насосів. Характерні види дефектів обстежених штоків наступні: прогин-8; тріщини-3; пошкодження і зрив різби-7; спрацювання поверхні штоків під ущільнення – 28. Деякі насоси мали по декілька дефектів. Дослідження геометричного профілю проводилось на штоках нафтопромислових

насосів типу НБ-125 (9МГр-73), які працювали на нафтових родовищах. Форма циліндричних поверхонь характеризується циліндричністю, округлістю та профілем твірної повздовжнього перетину робочої поверхні штока.

Для досліджень використовувались центри з індикаторною стійкою та індикатором годинникового типу ИГ 0510 ГОСТ 577, мікрометр МК 25-50 за ГОСТ 6507 і штангенциркуль ШЦ-10-400 за ГОСТ 166. Відхилення робочих поверхонь від округлості вимірюють у місці, де в обох перерізах штока А-А і В-В значення зносу найбільше. Радіальний знос визначався за допомогою індикатора у 12 точках, методом поділу круглого сечення штока на 12 рівних секторів. На рис. 1 ескізно показано встановлення штока в центрах пристрою і стійку з індикатором.



1-центри; 2-шток; 3-стійка; 4-індикатор; 5-поршень насоса

Рис. 1. Схема вимірювання геометричної форми штока

Робоча частина штоку, яка знаходиться в парі з ущільненням починається на відстані $l_1 = 65$ мм від буртика встановлення поршня насоса. Заміри профілю твірної повздовжнього перетину штока проводять в двох взаємно перпендикулярних перерізах А-А і В-В з кроком 10 мм вздовж робочої поверхні тертя штока в ущільненні. Розрахунок зносу штока проводимо в двох взаємно перпендикулярних перерізах А-А і В-В з тим же кроком 10 мм.

Діаграма зносу твірної у площинах поздовжніх перерізів А-А та В-В на довжині робочого ходу (l_2) штока в ущільненні графічно зображена на рис. 2.

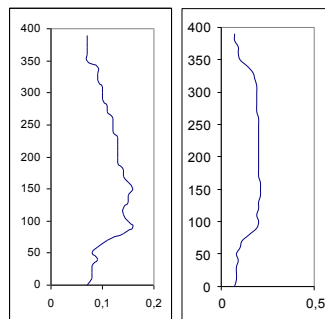


Рис. 2. Знос штока на твірній довжині його ходу в ущільненні

Як видно з рис. 2 найбільш інтенсивне зношування штока відбувається на початку зворотного робочого ходу, з сторони закріплення його в повзуні, з'єданого з кривошипно-шатунним механізмом. Це явище нами пояснюється наступним чином. Зерна абразиву заносяться під «губу» ущільнення і фіксуються в ній. Відбувається процес шаржування гуми абразивом. Крім того тиск рідини спричиняє підвертання зерен абразиву разом з ущільненням. Тому, коли відбувається робочий хід штока дані зерна виконують роль пружнозакріплених різців, які і спричиняють інтенсивне зношування штока на даному участку. Фактично відбувається явище мікрорізання.

При подальшому переміщенні штока кромки зерен притуплюються і руйнуються, а зерна прокручуються (провертаються). Тому подальший процес зношування штока є менш інтенсивним.

Наведені вище викладки допоможуть оптимізувати розрахунки товщини наплавленого шару та припусків на послідовну механічну обробку при реставрації штоків насосів високого тиску, які встановлюються на НГТТ і запропонувати ефективний метод відновлення зношених штоків шляхом використання прогресивних технологій і надтвердих матеріалів, які наносяться на поверхню тонким шаром, а саме за допомогою електроіскрового нарощування і легування.

УДК 621.787.669

Каплун П. В., Гончар В. А.

ВПЛИВ РОЗМІРУ АБРАЗИВНОГО ЗЕРНА НА ЗНОСОСТІЙКІСТЬ ШНЕКІВ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ КОМБІКОРМІВ

При виготовленні комбікормів для тварин при переробці фуражного зерна перспективною є технологія екструдуювання. Домішки мінералів збагачують комбікорма мікроелементами, які підвищують якість і ефективність комбікормів. Один з мінералів багатий на мікроелементи є мінерал сапоніт. У складі сапоніту є більше 20 мікроелементів і хімічних елементів, корисних для тварин. Але в його складі міститься до 10 % кварцового піску, який є абразивом і викликає інтенсивне зношування деталей екструдера і, зокрема, шнека і циліндра вузла екструдуювання.

Нашими дослідженнями встановлено, що в складі сапоніту Ташківського родовища Хмельницької області міститься кварцовий пісок розміром від 100 до 600 мкм.

З метою виявлення впливу розміру абразивного зерна на інтенсивність зношування сталей проведені лабораторні дослідження зразків із сталі 20, 45, ШХ15, Х12, які зміцнювалися методом термічної обробки, іонного азотування та нітрогартування. Випробування проводилися в середовищі абразивного модельного розчину на спеціальній машині тертя, що

модельовали умови роботи екструдерів при тиску 4 МПа і швидкості ковзання 0,4 м/с. У складі модельного розчину, що являв собою водний розчин муки в співвідношенні 2:8 з домішками 10 % кварцового піску певних фракцій від 75 до 600 мкм.

Дослідженнями встановлено, що розмір абразивного зерна має вплив на інтенсивність зношування, яка зростає зі збільшенням розміру зерна від 75 до 300 мкм для сталі 20 становила до 20 %, для гартованих сталей 45, ШХ15 та азотованих Х12, ШХ15, які мали стабільну структуру – 14-16 %. Для сталі Х12, яку було гартованою від температури 1050 °С і яка містила 55 % залишкового аустеніту, збільшення інтенсивності зношування при зростанні середнього розміру абразивного зерна від 75 до 300 мкм становило 7 %.

УДК 62-592.112.002.3: 669.112.274.6

Акимов И. В., Кубич В. И.

СОВМЕСТИМОСТЬ КОНТАКТА ГРАФИТИЗИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ СО СТАЛЬЮ 40Х ПРИ ТРЕНИИ БЕЗ СМАЗОЧНОГО МАТЕРИАЛА

Графитизированные стали, как класс конструкционных материалов, являются малоизученными. В литературных данных встречаются обрывочные сведения об их использовании для конкретных деталей, нет четкого описания возможных областей их применения. Известные же марки сталей, на которые существуют технические условия, требуют длительного и энергозатратного графитизирующего отжига при производстве из них изделий. Анализ свойств графитизированных сталей показывает, что одной из возможных областей ее применения является изготовление тормозных колодок железнодорожного назначения.

В работе выполнена оценка характера влияния химического состава и структуры графитизированных сталей на совместимость и фрикционность контакта со сталью 40Х при трении скольжения без смазочного материала в условиях варьирования нагрузочным и скоростным режимами взаимодействия. Триботехнические испытания проводились на машине трения модели СМЦ-2 при следующих условиях: схема трения «подвижный ролик – неподвижная колодка»; частоты вращения подвижного ролика: 300 мин⁻¹; 500 мин⁻¹; 1000 мин⁻¹; нагрузка в зоне трения постоянная, приложена к колодке через рычаг подвижной каретки: 165 Н, 188 Н, 210 Н, 235 Н. Ролики изготавливались из стали 40Х, колодки из опытных слитков. Триботехническим испытаниям подвергались пять трибосопряжений с модифицированными сплавами, и одно трибосопряжение с эталонным материалом – чугун АСЧ-2.

По результатам обработки полученных данных построены графические зависимости изменения коэффициента трения в трибосопряжениях, и

температуры колодок. В целом установлено следующее. При данных условиях скоростного взаимодействия однозначно имеют место процессы схватывания, особенно при частотах 300 мин^{-1} , 500 мин^{-1} . Относительно большое время фрикционного контакта, при выбранных значениях нормальных нагрузок, создает благоприятные условия для протекания процессов адгезионного взаимодействия между компонентами структур исследуемых материалов. Тангенциальная прочность таких связей значительно выше, чем предел текучести основного материала, что и обуславливает активное протекание процессов массопереноса компонентов с поверхности графитизированных сталей на ролик, формируя при этом слой третьего тела с определенными физико-механическими свойствами. Причем, ведущую роль при этом играют более твердые фазы, посредством которых разрушаются поверхностные оксидные пленки и формируются микрозоны ювенильного контакта. Формирующееся третье тело обуславливает образование микропрофиля с выступами определенного радиуса закругления. Выступы же, под действием нормальной нагрузки внедряясь в поверхность ролика, определяют механическую составляющую силы трения. Таким образом, в процессе испытаний контактное взаимодействие при низких частотах осуществлялось через явно выражаемое третье тело. Исходя, из наблюдаемого характера взаимодействия поверхностей испытываемых материалов следует, что высокие значения коэффициента трения определяли именно процессы формирования третьего тела.

Для всех испытываемых трибосопряжений имело место наличие порогового значения нагрузки равное 165 Н , при котором коэффициент трения был в границах $0,32-0,42$ в начале испытаний, и в границах $0,33-0,37$ в конце испытаний. Это объясняется различными свойствами фазовых включений, образующих третье тело в поверхностных структурах сталей, и их изменением под действием силовых и температурных полей как при микросближении контактных зон, так и их расхождением, в условиях упруго-пластического деформирования. При этом от характера когезионно-адгезионного взаимодействия компонентов третьего тела внутри себя и с «родственниками» ювенильных зон поверхностей основных материалов зависит доля молекулярной и механической составляющей коэффициента трения.

Результаты триботехнических испытаний графитизированных сталей позволили определить направленность влияния их химического состава на проявление совместимости и фрикционности контакта со сталью 40Х. Установлено, что сталь состава: С $1,54 \%$; Cu $0,85 \%$; Si $1,07 \%$; Al $0,22 \%$; Mn $0,41 \%$; Ni $0,13 \%$; Cr $0,15 \%$; S $0,022 \%$; P $0,018 \%$ при скорости скольжения не менее 176 м/мин обуславливает лучшие совместимость и фрикционность контакта по сравнению с представленным рядом. При этом температурная напряженность контакта при его разгрузке ниже, чем у эталонного чугуна АСЧ-2. Однако выявленные особенности

формирования третьего тела в исследованных трибосопряжениях вызывают необходимость в проведении дополнительных триботехнических испытаний при больших скоростях скольжения.

УДК 621.9

Посонський С. Ф., Бабак О. П.

ЗМІЦНЕННЯ ПОВЕРХОНЬ ТЕРТЯ З НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВИХ СТАЛЕЙ ЕЛЕКТРОКОНТАКТНИМИ МЕТОДАМИ

Підвищення зносостійкості деталей машин є актуальною проблемою, особливо в наш час, коли суттєво зросли питомі навантаження на деталі вузлів тертя, збільшились швидкості руху, агресивнішим стало середовище для їхньої роботи.

Застосування традиційних методів зміцнення таких як термічна, хіміко-термічна, термомеханічна обробка тощо в певній мірі себе вичерпали. Кожен з цих методів має свої переваги та недоліки. Однак, враховуючи те, що в процесі тертя зношується тільки поверхневий шар (глибиною 200-300 мкм), здатний вивести вузол тертя з ладу, а серцевина залишається практично без змін, перевагу у виборі методів підвищення зносостійкості краще віддавати поверхневому зміцненню.

Створення на поверхні досить дешевих вуглецевих чи низьколегованих сталей зносостійкого покриття сприяє підвищенню строку служби останніх у декілька разів, дає економію дорогих матеріалів. Таке покриття формують різними способами, в процесі виконання яких метал покриття розплавляється, що забезпечує міцне з'єднання його з металом основи.

Після цементації вміст вуглецю в поверхневому цементованому шарі не перевищує 1,0-1,1 %, тому тільки збільшенням кількості вуглецю в поверхневих шарах проблему підвищення твердості, міцності та зносостійкості деталей, не вирішують. Обов'язковим після цементації є проведення гартування, тобто одержання мартенситної структури, яка і забезпечує потрібні властивості поверхні та серцевини деталей. Крім того, цементація є тривалим процесом (6-8 годин), вимагає потужного обладнання та значних виробничих площ.

Відомо, що зносостійкість незагартованого білого чавуну з ледебуритною структурою і твердістю, яка не перевищує *HRC56*, набагато вища, ніж сталей та графітизованих чавунів, загартованих на мартенсит з твердістю $\geq 60HRC$.

Останнім часом розробляються нові процеси зміцнення, коли ефективно використання вуглецевих матеріалів для науглецювання сталі перевищує 50 % і наближається до 100 %. Тривалість технологічних

процесів, що відповідають сучасним вимогам високої продуктивності, здатності піддаватися механізації, скорочено до хвилин та секунд.

Серед таких сучасних технологічних процесів є спосіб електроконтактного плакування порошками. Суть способу плакування порошками полягає в наступному. При контактному зварюванні (точковому чи шовному) в якості одного з двох елементів конструкції, що зварюється, використовується шар металевого порошку. Під дією тиску мідного електроду і електричного струму, що пропускається через цю систему, відбувається зварювання в результаті термодифузії.

Навуглецювання поверхні деталей з низьковуглецевої сталі проводять із використанням дисперсного вуглецевого матеріалу. Дисперсний вуглець мікронного діаметру має унікальні фізичні і технологічні властивості, а саме: електропровідність та достатній електричний опір для забезпечення швидкого нагрівання до високих температур, достатню теплопровідність, щоб швидко передавати накопичене тепло в прилеглий поверхневий шар сталі та забезпечувати швидке його оплавлення; крім того, дисперсний вуглець добре змочується рідкою сталлю. Це дозволяє за дуже короткий час, який визначається секундами, перетворити поверхню в розплав, що складається з високовуглецевої сталі та білого чавуну.

Вищеописаний спосіб використано нами для створення на поверхні деталей з низьковуглецевої сталі шару з твердими (що утворюються внаслідок навуглецювання) та м'якими (що не піддавались навуглецюванню) зонами. Така структура забезпечує підвищення зносостійкості завдяки наявності навуглецьованих ділянок та покращує змащування поверхні за рахунок не зміцнених ділянок, у яких під час тертя затримуються і мастило і продукти зношування.

УДК 621.891

Сорокати́й Р. В., Дитинюк В. О.

ДО ПИТАННЯ ЧИСЕЛЬНОГО МОДЕЛЮВАННЯ І РОЗВ'ЯЗКУ ЗАДАЧ ТРИБОЛОГІЇ

На стадії проектування вузлів тертя недостатньо уваги приділяється розрахунковим методам аналізу процесів зношування й прогнозування ресурсу пара тертя за критерієм зношування, а також виявленню на цій стадії можливих відмов технічної системи внаслідок зношування вузлів тертя.

З огляду на важливість цієї проблеми стає очевидною необхідність створення розрахункових інструментів для інженерного аналізу вузлів тертя. Як показав аналіз використання міцнісних розрахунків, ефективним інструментом в інженерній діяльності є САЕ – системи (Computer Aided Engineering), які дозволяють за допомогою розрахункових методів

оцінити, як поведеться комп'ютерна модель вузла в реальних умовах експлуатації, допомагають переконалися в працездатності його в заданий період часу, без залучення більших витрат часу й засобів.

З огляду на інтенсивний розвиток комп'ютерної техніки й появу універсальних CAE-пакетів для рішення інженерних задач, останнім часом застосовують спроби використання переваг чисельних методів для симуляції й аналізу фізичних процесів, що відбуваються в процесі зношування.

На сучасному етапі використання CAE-систем у триботехніці йде за двома напрямками: перше – використання існуючих можливостей CAE-пакетів для рішення окремих груп завдань, сполучених із процесами зношування (задачі напружено-деформованого стану, гідродинаміки, теплові й т. ін.); друге – розробка інтегрованих модулів у CAE – системах для розрахунку зношування пар тертя.

Узагальнено методика використання пакетів ABAQUS й ANSYS при моделюванні зношування зводиться до наступного:

- у препроцесорі пакету будується скінчено – елементна модель пари тертя;
- за допомогою вирішувача визначається напружено – деформований стан (ПДС) пари тертя;
- отримані дані розрахунків ПДС використовуються для розрахунку зношування в програмних додатках, написаних користувачами в ABAQUS мовою FORTRAN, або за допомогою вбудованих засобів програмування ADPL в ANSYS;
- результати розрахунку зношування передаються в препроцесор для побудови нової скінчено-елементної моделі й проведення розрахунків ПДС із урахуванням змін геометрії внаслідок зношування.

УДК 621.891

Шевеля В. В., Александренко В. П., Косткевич Э. Э.

МЕХАНОХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ФОРМИРОВАНИЯ ФРЕТТИНГ-ПОВРЕЖДЕННОСТИ

Локализация контактного взаимодействия при микроперемещениях в условиях фреттинга оказывает существенное влияние на характер формирующейся геометрической структуры зоны трения. Изучение такой структуры позволяет проследить за эволюцией фреттинг-повреждений. Недостаточное соответствие существующих гипотез о природе фреттинг-коррозии ряду обнаруженных экспериментальных фактов можно объяснить довольно односторонними подходами к анализу этого вида поверхностного

разрушения, не учитывающими взаимосвязанности реализующихся в ходе динамического контактирования механо-химико-реологических процессов.

Изучена геометрическая структура повреждений поверхности при фреттинг-коррозии в зависимости от амплитуды проскальзывания и числа циклов наработки. Уточнен механизм развития фреттинг-повреждений. Выявленные закономерности свидетельствуют об одновременном действии в зоне трения физико-химических механизмов диссипации подводимой механической энергии и смене ведущих процессов по ширине зоны контакта. На периферийных участках превалируют трибохимические явления, а во внутренней зоне – реологические. Повреждения при фреттинге обусловлены адгезионно-усталостным механизмом, осложненным локально-абразивным действием продуктов фреттинг-коррозии.

Установлено, что повышение сопротивляемости стали микродеформации, увеличение продолжительности формирования фрикционного контакта, вызывающего локализацию, вовлечение в процесс деформирования более глубоких поверхностных слоев и проявление фактора предварительного смещения способствует формированию между участками фактического контакта адгезионных связей и экстремальному проявлению адгезионного износа и коэффициента трения в низкоамплитудном диапазоне проскальзывания.

Для характеристики степени локального повреждения при виброконтакте введен параметр – фреттинг-фактор, величина которого зависит от режима термообработки и амплитуды скольжения. Выявлено, что в связи с изменением условий формирования фрикционного контакта в низкоамплитудной области величины фреттинг-фактора для стали различной термообработки возрастают, а в высокоамплитудной – снижаются. Обнаружена взаимосвязь структурной наследственности стали после термообработки с проявлением фреттинг-фактора при определенных амплитудно-нагрузочных режимах фреттинга. В этом случае повреждаемость зависит от запаса микропластичности, который сохранился после соответствующего отпуска закаленной стали.

УДК 621.78/(66.088+537.52+66.046)

Курской В. С., Пастух И. М., Курская В. О.

АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ЦИКЛІЧНОГО КОМУТОВАННЯ В УМОВАХ ПІКОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Серед значної кількості методів модифікації поверхонь тертя чільне місце посідає технологія азотування в тліючому розряді. Однією з основних переваг цієї технології є керованість процесом та його результатами. Серед сукупності методів керованого впливу на процеси

при азотуванні в тліючому розряді, особливо актуальними, є методи пов'язані з живленням камери струмом з нестационарними параметрами, зокрема циклічно-комутованим струмом. Впровадження режиму циклічної комутації при азотуванні в тліючому розряді відкриває додаткові можливості підвищення ефективності та якості вказаної технології, насамперед:

- розширюється можливість азотування деталей складної форми (наявність глибоких та вузьких пазів, отворів малого діаметра та значної глибини тощо);

- знижується ризик локальних ушкоджень модифікованих поверхонь за рахунок зменшення імовірності виникнення дугових розрядів;

- розширюється допустимий діапазон регулювання таких важливих з точки зору оптимізації технологічного процесу параметрів як тиск у розрядній камері та температура поверхні деталей;

- для варіанту автономної системи нагрівання деталей значно спрощується контроль недопущення перегрівання поверхні, спричиненої виділенням додаткової енергії розряду [Kwon S. C., Lee G. H., Yoo M. C. A comparative study between pulsed and D. C. ion nitriding behavior in specimens with blind holes // 1 st International conference of ion nitriding. – Cleveland, Ohio. – 1986. – P. 77–81. Grun R. Pulse plasma treatment the innovation for ion nitriding // 1 st International conference of ion nitriding. – Cleveland, Ohio. – 1986. – P. 143–168. Grun R. Industrial advances for plasma nitriding // Ion nitriding and ion carburising: 2 nd International conference of ion nitriding/carburising. – Cleveland, Ohio. – 1989. – P. 157–163. Dressler S. Plasma parameter control for industrial situations: The role of hot wall plasma nitriding furnaces // Ion nitriding and ion carburising: 2 nd International conference of ion nitriding/carburising. – Cleveland, Ohio. – 1989. – P. 183–195.].

Основні положення розробки апаратури для циклічної комутації розряду викладені в роботі [Давидов А. М. Апаратна реалізація режиму азотування в циклічно комутованому тліючому розряді / А. М. Давидов, М. В. Лук'янюк, І. М. Пастух // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – Хмельницький. – 2010. – № 1. – С. 50–53.]. Застосування такої схеми живлення дозволило реалізувати достатньо широкий діапазон робочих режимів азотування. Проте, зважаючи на те, що камера являє собою реактивне навантаження, та на значну інертність системи керування параметрами живлення в ході досліджень було виявлено режими, при яких амплітуда напруги комутованого струму досягає значень понад 2500 В при величині пікового струму понад 20 А. Реалізація комутації струму в таких умовах, виходячи з існуючої елементної бази є досить складною. Зокрема, переважна більшість напівпровідникових елементів мають пікове значення робочої напруги, яке не перевищує 1200 В. Виходячи з сказаного вище було реалізовано

схему ключа з послідовним включенням транзисторів. Для забезпечення оптимальної роботи такої схеми було вирішено два ключових питання: коректування напруги на кожному з елементів та розробка схеми керування. Основною проблемою при організації послідовного включення є симетрування роботи кожного з елементів, оскільки при наявності несиметричності в роботі елементів один з них відкривається та закривається раніше за інші, що у свою чергу призводить до підвищених втрат тепла на даному елементі, а отже зниженню надійності системи в цілому. Для встановлення робочої точки кожного транзистора по постійному струму було використано резистори R1-R3, включені паралельно кожному з транзисторів T1-T3. У цьому випадку для симетрування була застосована схема, спрощений вид якої наведено на рис. 1. В якості драйверів було використано оптопари HCPL-3120 з незалежним живленням.

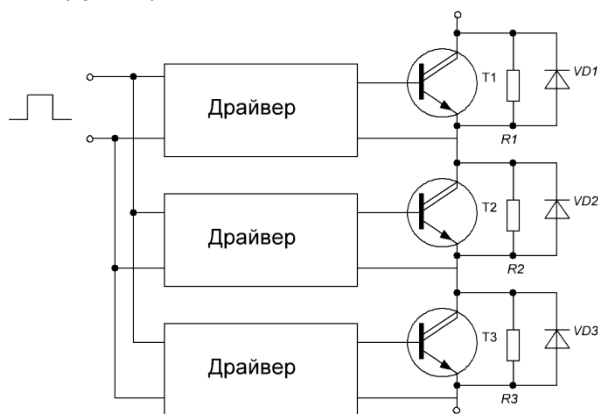


Рис. 1. Спрощена схема послідовного з'єднання ключових елементів
Осцилограма форми напруги на робочій камері наведена на рис. 2.

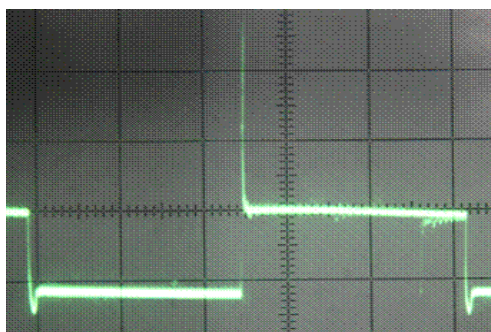


Рис. 2 Осцилограма форми напруги на робочій камері

Висновок. Застосування запропонованого комплексу в якості ключа при реалізації циклічно-комутованого живлення при азотуванні в тліючому розряді дозволило реалізувати весь спектр робочих напруг та струмів, оскільки значення цих величин обмежуються лише кількістю застосованих елементів, що відкриває шлях до експериментального використання циклічно-комутованого розряду для модифікації поверхні металевих сплавів на принципово новій основі.

УДК 621.785.54

Аулін В. В., Кузик О. В.

НЕРІВНОВАЖНІ ФАЗОВІ ПЕРЕТВОРЕННЯ МАТЕРІАЛІВ В УМОВАХ ЛАЗЕРНОЇ ОБРОБКИ ТА ЇХ ВПЛИВ НА ТРИБОТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Дослідження процесу перекристалізації в нерівноважних умовах лазерної обробки є важливим і актуальним не лише в науковому, але і в практичному аспекті, оскільки механічні та трибологічні властивості сталей безпосередньо залежать від розмірів зерна. Швидке лазерне нагрівання пригнічує дифузійні процеси в сталях і стимулює механізм утворення зсуву γ -фази. Тому ефекти структурної спадковості в умовах лазерного нагрівання можуть проявлятися особливо яскраво.

Дослідження останніх років, показують, що перліт, отриманий при найбільш низьких температурах, є нерівноважною структурою. При його короткочасному докритичному відпалі інтенсивно протікають перетворення, не пов'язані з процесами сфероїдизації і коагуляції цементиту, але наявні істотні зміни міцнісних властивостей.

Зазначимо, що тонкопластинчатий перліт, утворений при прискореному охолодженні є наноструктурою, оскільки міжпластинкова відстань у перлітових колоніях складає порядку 80...60 нм, а товщина цементитної пластини 7...8 нм. Можливе розчинення цементита при деформації перліту, отриманого в нерівноважних умовах і порівняння його поведінки з перлітом, отриманим в рівноважних умовах являє науковий і практичний інтерес.

Показано, що в загартованій і у високовідпущеній сталі аустеніт утворюється по «механізму відновлення», але в разі нагрівання високовідпущеної сталі формується дрібне зерно – результат виходаїдної схеми перекристалізації, що включає фазове перетворення і рекристалізацію, що пройшла в інтервалі перетворення.

Після лазерного загартування середньолеговані конструкційні сталі набувають підвищену твердість порівняно з твердістю після звичайного загартування. Це пов'язано з дрібнокристалічним станом мартенситу,

збільшенням щільності дефектів, отриманням структури з украленими карбідами, обмеженням самоотпуску мартенситу при надшвидкому охолодженні. Показано, що за структурою мартенсит лазерного загартування не відрізняється від того, що утворюється при звичайному загартуванні. Експериментально показано, що головною причиною підвищення твердості при лазерному загартуванні є різке обмеження самовідпускання мартенситу.

Розглянуто механізм утворення аустеніту при надшвидкому лазерному нагріванні в сталі з початковою перлітовою структурою. Встановлена можливість бездифузійного зсуву мартенсито-подібного механізму утворення аустеніту при нагріванні. При цьому аустеніт утворюється в межах окремої феритної пластини, розчинення цементитних пластин, розташованих поряд з утвореним аустенітом, не відбувається. Це свідчить про те, що аустеніт утворюється бездифузійно.

Виявлено, що при надшвидкому лазерному нагріванні сталей різко обмежені дифузійні процеси між фазами, що мають різний хімічний склад. Внаслідок цього в зоні лазерного загартування заздалегідь відпалених сталей, можлива поява поблизу великих карбідів структури, характерної для чавуну.

Встановлено, що при лазерній обробці сталей у початковому загартованому стані різко проявляється структурна спадковість. Показано, що перекристалізація загартованої, загартованою і відпущеною, а також загартованої і деформованої сталі при лазерному нагріванні складається з двох етапів: впорядкованої перебудови ґратки, що призводить до відновлення зерна, і подальшої рекристалізації аустеніту, обумовленої внутрішнім (фазовим) наклепуванням, що іноді поєднується із зовнішнім наклепуванням. При надшвидкому лазерному нагріві рекристалізація, обумовлена фазовим наклепуванням, може бути повністю пригнічена.

Встановлено, що попереднє відпускання і пластична деформація загартованої сталі сприяє розвитку рекристалізації аустеніту при подальшому лазерному нагріванні. З підвищенням температури відпускання початок рекристалізації аустеніту поступово знижується до інтервалу $\alpha \rightarrow \gamma$ – перетворення. З підвищенням міри пластичної деформації температура початку рекристалізації аустеніту знижується до інтервалу $\alpha \rightarrow \gamma$ – перетворення; рекристалізоване зерно різко подрібнюється.

Виявлено, що при надшвидкому лазерному нагріванні зародки аустеніту мають вигляд пластинчатих кристалів, що виникають на межах рейок α – фази, а не на міжфазних межах ферит/цементит. Вони орієнтаційно пов'язані з сусідніми мартенситними кристалами і мають єдину орієнтацію в межах первинного зерна аустеніту, що пояснює відновлення зерна аустеніту при подальшому зростанні зародків.

У сталях з перлітовою структурою при надшвидкісному лазерному нагріванні зародження аустеніту може відбуватися мартенситоподібним

зсувним бездифузійним механізмом з дотриманням орієнтаційних співвідношень між початковим феритом (ферритної складові перліту) і утвореного аустеніту.

Експериментальні дослідження показали, що розглянуті нерівноважні фазові перетворення в сталевих матеріалах трибоелементів істотно знижують рівень інтенсивності зношування і коефіцієнт тертя, оскільки в зонах тертя і лазерної обробки створюють умови для реалізації процесів і станів сомоорганізації.

УДК 621.787.669

Матвійшин П. В.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ КОНСТРУКЦІЙНИХ СТАЛЕЙ В СЕРЕДОВИЩІ СКЛОНАПОВНЕНИХ ПЛАСТМАС

Зносостійкість деталей термопластавтоматів при переробці скло наповнених полімерів дуже низька.

З метою вивчення зносостійкості матеріалів з різними властивостями та методами їх зміцнення в середовищі розплаву скло наповнених пластмас нами розроблена спеціальна експериментальна установка, що моделює умови роботи пари шнек-циліндр екструдерів і термо-пластавтоматів.

На цій установці проведені порівняльні дослідження на знос зразків зі сталей 20, 45 і 38ХМЮА, поверхня яких зміцнювалась за різними видами хіміко-термічної обробки: сульфидування, цементації, борування, традиційного газового азотування в печах в середовищі аміаку на протязі 48 годин і іонному азотуванні в тліючому розряді за різними технологічними режимами з варіюванням температурою (від 520 до 620°С) та складом насичуючого середовища (75об %N₂ + 25об %Ar і 70об %N₂ + 25об %Ar + 5об %C₆H₂) при тиску у вакуумній камері 267Па і часі дифузійного насичення 4 години. Випробування проводилися в середовищі розплаву склонаповненого поліаміду П6-68 з вмістом 30 % за вагою скловолокна при тиску 4МПа і температурі 240 °С.

Знос зразків визначався через кожні 0,5 млн обертів робочого валу (шлях тертя $0,58 \cdot 10^5$ м) на універсальному інструментальному мікроскопі УИМ-10 з точністю до 0,5 мкм. Вимірювання проводились в одних і тих самих точках на двох взаємно-перпендикулярних діаметрах. Перед вимірюванням зразки очищалися від пластмаси. Кожний результат визначався як середнє арифметичне значень з 10 замірів. Кожний експеримент повторювався 3 рази і знос визначався як середнє арифметичне з результатів трьох дослідів.

Аналіз зношування зразків зі сталі 38ХМЮА після традиційного газового азотування і іонного азотування в тліючому розряді за різними технологічними режимами (рис.2) показав, що іонне азотування за

досліджуваними технологічними режимами забезпечує значно більшу зносостійкість після припрацювання і після проходження зразками шляху тертя $4,08 \cdot 10^5$ м. Це пояснюється такими причинами: 1) при газовому пічному азотуванні в середовищі аміаку азотований шар мав значно більший градієнт зменшення твердості по глибині азотованого шару ніж при іонному азотуванні. Розміщена на поверхні ϵ -фаза великої твердості забезпечує в початковий період зношування високу зносостійкість, а після її стирання інтенсивність зносу різко збільшується. При іонному азотуванні градієнт зменшення твердості по глибині значно менший. На поверхні крім ϵ -фази є велика кількість γ -фази і нітрид ний шар має більшу товщину, що і зумовлює його більшу зносостійкість на протязі більшого шляху тертя; 2) нітрид ний шар при іонному азотуванні характеризується більшою пластичністю і меншою дефектністю в порівнянні з нітридним шаром при пічному газовому азотуванні, котрий має велику крихкість, неоднорідність і значну кількість мікротріщин. Дефектність азотованого шару при традиційному газовому азотуванні сприяє зростанню ролі корозійної складової у процесі зношування і зниженню зносостійкості поверхні.

Проведені дослідження показали, що в парі тертя інтенсивність зношування внутрішніх кілець, що обертаються, вища порівняно із зовнішніми нерухомими зразками при однакових фізико-механічних характеристиках їх поверхонь. Це пояснюється більш інтенсивним протіканням електрохімічних і корозійних процесів при русі зразків в хімічно активному середовищі. Дослідження показали, що зменшення температури іонного азотування зразків зі сталі 38ХМЮАК з 620°C до 520°C викликає зменшення їх зносу, що зумовлено підвищенням твердості поверхні азотованого шару. Введення в насичуюче середовище 5 % пропану призводить до утворення на поверхні азотованого шару карбонітридів, які характеризуються більшою пластичністю порівняно з нітридами. Це сприяло підвищенню зносостійкості в у умовах зношування.

Таким чином, дослідження показали, що при абразивному зношуванні в хімічно активних середовищах на зносостійкість пари тертя крім твердості вплив має пластичність структури і фазовий склад поверхневого шару, що забезпечують значну стійкість проти електрохімічних процесів і крихкого руйнування поверхні при зношуванні.

УДК 621.791

Абрамов О. О., Козюк О. М.

З'ЄДНАННЯ МІДНИХ І АЛЮМІНІЄВИХ ДРОТІВ НА ЗВАРЮВАЛЬНОЇ МАШИНИ МС-403 У4

При монтажі електропроводки, виготовленні струмопровідних обмоток електричних машин, трансформаторів, будь-якого іншого

технологічного обладнання широко використовують з'єднання мідних і алюмінієвих дротів паянням. Проте зварювання забезпечує цим з'єднанням більш високі механічні характеристики порівняно з паянням і тим самим підвищує надійність і ресурс їх роботи, знижує витрати матеріалів і коштів. Для реалізації процесу зварювання дротів застосовують спеціальне обладнання з визначеними технічними можливостями, але технологічний режим його роботи кожному підприємству доводиться відпрацьовувати самостійно, виходячі з номенклатури виробів.

У цій роботі представлені методика і результати дослідження, спрямованого на знаходження оптимальних робочих параметрів режиму зварювання нагартованих і відпалених мідних (мідь М1) і алюмінієвих (А85) дротів діаметром 3 мм на машині стикового електроконтактного зварювання опором МС-403 У4, які відсутні в її технічному паспорті.

Дослідження проводилися на зразках однакової довжини. Варіювалися, визначалися і оптимізувалися наступні параметри режиму зварювання: ступінь роботи трансформатора, довжина вильоту дротів із затискних губок і час знаходження зразків під струмом, які найкраще відповідають зафіксованій нами величині зусилля осадки в 40 Н для мідних і в 15 Н для алюмінієвих дротів. Необхідна кількість досліджування зразків встановлювалася на основі планування експерименту.

Для оцінки якості зварних з'єднань визначали: коефіцієнт співвідношення кінцевої площі поперечного перерізу шва на відмітки витисненого ґрату до площі поперечного перерізу вихідного дроту, величину укорочення зразків при формуванні зварного з'єднання, кількість перегинань цих з'єднань на 90°, межу міцності при розтягуванні на розривній машині, твердість на твердомірі ПМТ-3. Зразки, які отримали кращу і гіршу якісну оцінку піддані металографічному контролю на мікроскопі МИМ-10 для аналізу мікроструктури. З метою отримання і порівняння механічних та інших характеристик зварних з'єднань випробуванню піддані також вихідні дроти в нагартованому і відпаленому станах.

За режимом зварювання дротів, які за результатами контролю показали найкращі властивості, зварена і досліджена додаткова кількість зразків із наступним відпалом їх з'єднань у затискних губках МС-403 У4 або в газовакуумній печі СГВ-2.4-2/25-ІЗ.

Дослідженням встановлено, що якість зварних з'єднань, сформованих на дротах за кращими варіантами, рівноцінна якості вихідних дротів або їх перевищує. З'єднання, які отримані зварюванням на дротах з наступним відпалом у затискних губках машини і у вакуумній печі, мають в 2-3 рази вищу стійкість на перегинання при деякому зниженні опору при розтягуванні.

На основі проведеного дослідження знайдені і запропоновані для застосування оптимальні режими стикового електроконтактного зварювання опором мідних і алюмінієвих дротів діаметром 3 мм, в основу яких увійшли ступінь роботи трансформатора, величина вильоту дротів і зусилля їх стискування під час осадки.

КАВІТАЦІЙНО-ЕРОЗІЙНА ЗНОСОСТІЙКІСТЬ КОМПОЗИЦІЙНИХ ЕЛЕКТРОЛІТИЧНИХ ПОКРИТТІВ НА СТАЛІ 45 В ЖОРСТКІЙ ВОДІ

У роботі досліджено кавітаційно-ерозійну зносостійкість композиційних електролітичних покриттів (КЕП) на нікелевій основі з включеннями частинок кремнію SiC у вигляді дисперсних порошоків різного розміру: нано (Ni-SiC_{нано}); M₅ (Ni-SiC₅); 28/20 (Ni-SiC₂₈); 50/48 (Ni-SiC₅₀) мкм. Для отримання порівняльних даних проводили випробування на зносостійкість зразків із сталі 45 нормалізованої з нікелевою матрицею та без неї.

Осаджування КЕП проводили в хлористому електроліті нікелювання наступного складу: 300 г/л NiCl₂·6H₂O і 40 г/л H₃BO₃ з рН 3...4, що забезпечує швидкість осадування 90...100 мкм/год. В електроліт додатково вводили ПАР – лаурисульфат натрію в кількості 0,01...0,02 г/л, який стабілізує хімічний склад електроліту в процесі електролізу.

Осадження КЕП на зразки із сталі 45 проводили на спеціально сконструйованій установці, при густині струму 0.4...1 кА/м², температурі 60±2°C протягом 5...6 год при горизонтальному розміщенні зразка. Товщина покриття становила в середньому 80 мкм. Дослідження на зносостійкість при мікроударному навантаженні проводили на установці УЗДН-А протягом 2 год., у жорсткій воді (Mg SO₄×7H₂O – 0,343 г і CaCl₂×6H₂O – 0,61 г на 1 л дистилляту).

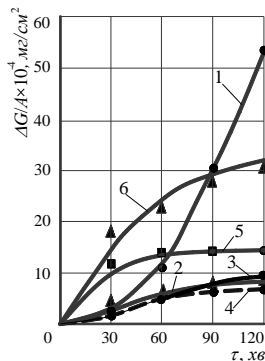


Рис. 1. Кінетика втрат маси зразків у жорсткій воді:
1 – сталь 45 нормалізована; 2 – Ni; 3 – Ni-SiC_{нано};
4 – Ni-SiC₅; 5 – Ni-SiC₂₈; 6 – Ni-SiC₅₀

Результати досліджень наведені на рис. 1, вказують на те, що покриття з Ni (крива 2) та КЕП складу Ni-SiC_{нано} і Ni-SiC₅ (криві 3 і 4) суттєво, в

середньому в 6 разів, підвищують кавітаційно-ерозійну зносостійкість сталі 45 нормалізованої у жорсткій воді. Децю меншу зносостійкість показали КЕП Ni-SiC₂₈ і Ni-SiC₅₀. При цьому КЕП Ni-SiC₂₈ за 2 год випробувань у жорсткій воді мають в 2 рази менші втрати маси порівняно з КЕП Ni-SiC₅₀. Разом з тим, криві втрат маси зразків з КЕП мають затухаючий характер, а сталь 45 нормалізована продовжує інтенсивно зношуватися і після 2 год кавітації.

Проведені дослідження сформованих КЕП з частинками SiC, дозволили в середньому в 6 разів підвищити кавітаційну зносостійкість сталі 45 нормалізованої у жорсткій воді.

УДК 621.78/(66.088+573.52+66.046)

Люховець В. В.

АЗОТУВАННЯ В ТЛІЮЧОМУ РОЗРЯДІ ДЕТАЛЕЙ З МАЛИМИ ОТВОРАМИ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ЗМІННОГО ЖИВЛЕННЯ

У сучасному виробництві відомо досить багато методів поверхневого зміцнення деталей: поверхневе гартування, різні види хіміко-термічної обробки та нанесення покриттів тощо. Їх можна ефективно застосовувати для підвищення працездатності та довговічності деталей машин.

Сьогодні гостро стоїть задача зменшити енергозатрати на виробництво продукції. Одним із дієвих та енергоощадливих методів отримання модифікованої поверхні є азотування в тліючому розряді зі стаціонарним живленням. Цей метод дає можливість при відносно невисоких затратах електроенергії одержати модифіковані металеві поверхні із заданими механічними властивостями: покращені антикорозійні властивості, підвищена зносостійкість та довговічність, малий коефіцієнт тертя. Вказані процеси спостерігаються на деталях правильної форми і нескладної конфігурації. Майже всі кінематичні пари тертя конструктивно підпадають під категорію отворів з відносно малим діаметром, де відношення глибини отвору до його діаметра перевищує значення чотири. Відомо, що поле проникає всередину відповідного наскрізного отвору на глибину не більше чотирьох діаметрів. Для глухих заглиблень цей критерій може бути зменшено до двох діаметральних розмірів.

Експерименти по азотуванню деталей з глибокими отворами малих діаметрів у тліючому розряді з постійним джерелом живлення підтвердили вищезазначені теоретичні висновки щодо розповсюдження розряду по глибині отвору. Внутрішня поверхня отворів біля торців деталі має твердість відповідну твердості зовнішньої поверхні деталі, а твердість далі по глибині зменшується і результати азотування стають менш помітні. Незначного підвищення твердості модифікованих внутрішніх поверхонь можливо досягти, збільшивши тривалість процесу азотування, що призводить

до збільшення тривалості процесу азотування і додаткових затрат енергії. Таким чином, втрачаються переваги азотування в тліючому розряді.

Можливість азотувати такі отвори все-таки є. Для цього необхідно продовжити шлях проникнення іонів азоту в глибину отвору. Це можливо за умови вимкнення електричне поле на деякий час, що змусить іони азоту рухатися за інерцією. Потрібний результат досягається шляхом заміни джерела постійного струму на джерело змінного струму, використовуючи циклічно-комутований розряд. При такому режимі можна вмикати і вимикати електричне поле, що дає можливість іонам продовжувати рух по дотичній до траєкторії, яка мала місце в момент переривання розряду, заповнюють порожнину отвору повністю і створюють надлишкову концентрацію іонів, потрібних для дифузії. Оскільки іони азоту є головним чинником при утворенні нітридів, то в подальшому процес азотування внутрішньої поверхні відбувається зі швидкістю, яка відповідає умовам азотування зовнішніх поверхонь.

Застосування циклічно-комутованого розряду живлення сприяє азотуванню деталей з отворами відносно малого діаметра без спеціальної оснастки. Механічні та фізичні характеристики модифікованої внутрішньої поверхні отвору не відрізняються від характеристик зовнішніх шарів азотованої деталі.

УДК 621.742:669.295

*Головко А., Клименко Л. П.,
Андреев В. И., Прищепов О. Ф.*

МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ГУБЧАТОГО ТИТАНА

Гильза блока цилиндров является наиболее ответственной деталью двигателя внутреннего сгорания. Химический состав, структура материала, точность изготовления, микрорельеф рабочей поверхности являются базовыми критериями, которые определяют общую надежность двигателя, триботехнические показатели пары трения поршневое кольцо-гильза. Гильзы являются деталями с затрудненной усадкой, так как на каждом конце детали имеются посадочные бурты (рис. 1).

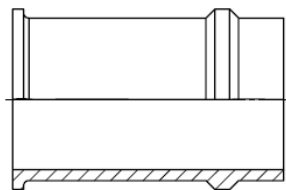


Рис. 1. Деталь с затрудненной усадкой

Поэтому получение такой отливки в металлической форме без отбела, трещин и других дефектов представляет большие трудности. Решить эту задачу можно лишь оптимизацией состава чугуна и скорости кристаллизации, чтобы отливки получались с желаемой структурой и механическими свойствами. Чтобы получить в металлической форме отливку без отбела, необходимо заливать чугун с повышенной склонностью к графитизации в процессе кристаллизации отливки. Это осуществляется двумя путями:

- снижением карбидообразующих и увеличением графитизирующих добавок в составе чугуна;
- замедление скорости кристаллизации отливки.

К добавкам, способствующим выделению углерода в форме графита, относятся углерод, кремний, алюминий, никель, медь, фосфор.

К добавкам, способствующим выделению углерода в форме цементита, относятся марганец, сера, хром, магний. По литературным данным, для получения поверхности отливки без отбела содержание $C + Si$ в жидком чугуне должно быть 6-6,5 %. Однако изменение состава чугуна в указанных пределах не всегда осуществимо вследствие ограничений по техническим условиям и необходимости получения определенной структуры в отливке. Поэтому при установлении технологии отливки чугунных деталей необходимо учитывать все факторы, влияющие на замедление скорости кристаллизации отливки. К факторам, замедляющим скорость кристаллизации, которыми обычно пользуются в технологии центробежного литья при отливке в металлической форме, относятся:

- повышение температуры заливки;
- снижение теплопроводности материала литейной формы.

При поиске новых материалов с низким коэффициентом теплопроводности для изготовления литейных форм перспективным является использование композиционных материалов на основе губчатого титана.

По литературным данным составлена схема (рис. 2) зависимости коэффициента теплопроводности композиционного материала на основе губчатого титана от различных факторов.

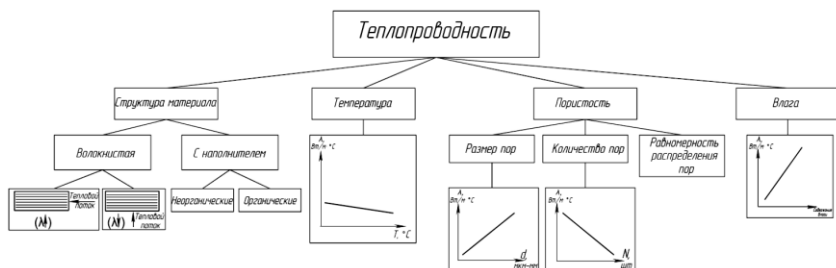


Рис. 2. Схема зависимости коэффициента теплопроводности от различных факторов

Для анизотропных материалов, то есть таких, которые имеют неодинаковую структуру в разных направлениях (волоконистые композиционные материалы), коэффициент теплопроводности (λ , Вт/м·°С) зависит от направления теплового потока. При направлении теплового потока параллельно направлению волокон λ увеличивается вдвое сравнительно с коэффициентом теплопроводности при направлении теплового потока перпендикулярно волокнам. Это объясняется тем, что при перпендикулярном направлении, тепловому потоку придется пересекать большое количество воздушных зазоров между волокнами, в самих волокнах. При направлении теплового потока параллельно волокнам влияние воздуха будет значительно меньшим.

Неорганические теплоизоляционные наполнители – порошок нитрида кремния (Si_3N_4), порошок оксида алюминия – корунд (Al_2O_3), порошок карбида кремния (SiC), порошок титанату алюминия (Al_2TiO_5). Свойства порошков приведены в табл. 1.

Таблица 1

Свойства порошков

Свойство	Порошок			
	Si_3N_4	SiC	Al_2O_3	Al_2TiO_5
Плотность, г/см ³	3,21	3,07-3,15	3,75-3,95	3,2-3,6
Ударная вязкость, МПа	850	430	1500-1900	900-1200
Теплопроводность, Вт/м·°С	62,8	120-200	20-30	1,5
Рабочая температура, °С	1600	1100-1800	1000-1500	600

У порошка титаната алюминия наименьший коэффициент теплопроводности, но диапазон рабочих температур значительно ниже, чем у других порошков. В качестве наполнителя целесообразнее использовать порошок оксида алюминия, т. к. он имеет оптимальный набор свойств:

- высокая твердость;
- высокая коррозионная стойкость;
- низкая плотность;
- сохранение прочности в широком диапазоне температур;
- невысокая стоимость в сравнении с другими порошками.

При рассмотривании зависимости коэффициента теплопроводности от пористости необходимо учитывать зависимость λ от общей пористости материала, величины и степени замкнутости пор. Форма пор чаще всего сферическая или близкая к ней. Наибольший размер поры может колебаться от долей миллиметров до несколько сантиметров. Как показывают исследование, распространение тепла в пористом теле представляет собой очень сложный процесс. Часть тепла передается сквозь остов основного материала, а часть – сквозь поры. При незначительном перепаде температуры в порах, размером менее 5 мм, основная часть тепла будет передаваться сквозь материал остова, а поры будет огибать. В самих порах тепло будет передаваться за счет

теплопроводности и радиации. С увеличением размеров пор часть передачи тепла в них увеличивается за счет увеличения радиации и возникновения конвекции. Следовательно, для пористых материалов теплопроводность находится в обратной зависимости от их общей пористости и в прямой от размеров пор. Это говорит также о том, что при высоких температурах материалы должны иметь мелкопористую структуру. Поры, соединенные между собой и поверхностью материала, создают более благоприятные условия для увлажнения материала и тем самым для увеличения его теплопроводности, потому теплоизоляционные материалы должны иметь по возможности замкнутые поры, которые обеспечивают наименьшую теплопроводность. Теплопроводные качества материала зависят не только от объема воздуха, который находится в порах материала, но главным образом от равномерного распределения пор в материале. С этой точки зрения крупнопористый материал будет менее эффективен как теплоизолятор, чем мелкопористый материал, той же плотности.

Установленные особенности зависимости теплопроводности от разных факторов позволяет сформулировать ряд требований к композиционному материалу на основе титана, который предлагается использовать при изготовлении литейной формы:

- композиционный материал не должен иметь волокнистой структуры, потому что при литейном производстве тепловой поток в форме распространяется от центра к периферии;
- в материале достичь более равномерного распределения пор и дисперсного наполнителя;
- размер пор свести к минимуму – 1-2 мм;
- экспериментальным путем выбрать оптимальное содержание наполнителя Al_2O_3 . Добавление 4,7 % $\alpha - Al_2O_3$ в композиционный материал на основании губчатого титана уменьшает теплопроводность материала в 1,3-1,5 раза;
- выбрать оптимальное покрытие (высокотемпературный электролитический метод из ионных расплавов) для устранения возможности проникновения влаги сквозь поры во внутрь материала.

УДК 621.787.669

Кухарь В. В., Лесовой М. О.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВНЕШНЕГО КОНТАКТНОГО ТРЕНИЯ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ БЕЗОТХОДНОГО РАЗДЕЛЕНИЯ ГНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ И ТРУБ

С точки зрения технологических режимов процессов разделения труб на мерные длины одним из наиболее существенно влияющих факторов

являются условия контактного трения, определяющие силу и моменты, возникающие при разделении. Предложен способ разделения гнутых профилей проката заданной длины и формы без искажения его геометрических форм, заключающийся в предварительном надрезе сдвигом неспрофилированной движущейся ленты ножами специальной конфигурации режущей кромки. Надрез сдвигом осуществляется на глубину, которая меньше глубины, вызывающей трещинообразование.

Целью настоящей работы является исследование условий внешнего контактного трения применительно к оборудованию рассматриваемых профилегибочных станков с использованием лабораторного мини-стана.

Созданная на базе данного стана экспериментальная установка включала в себя зафиксированный неподвижно динамометр, канатную растяжку, один конец которой был сопряжен с динамометром, а второй с заготовкой, задаваемой между приводными рабочими валками двухвалковой рабочей клетки с гидравлическим нажимным механизмом. В качестве исходной использовали заготовку, размерами $h \times B \times L = 15 \times 80 \times 250$ мм, которую задавали при различных значениях давления рабочей жидкости в поршневой полости гидроцилиндра. Шлифованную с обеих сторон исходную заготовку размерами $h \times B \times L = 15 \times 80 \times 250$ мм прокатывали, нанося различные технологические смазки.

В ходе проведения экспериментов были получены эмпирические распределения коэффициентов внешнего трения f_{τ} на контактных поверхностях шлифованной заготовки и приводных рабочих валков в зависимости от вида смазывающей охлаждающей жидкости и величины контактного давления p , а так же представлены эмпирические распределения коэффициента трения f_{τ} в зависимости от величины контактного давления p и вида смазывающей охлаждающей жидкости.

Анализ полученных результатов показал, что использование различных технологических смазок позволяет изменять величину коэффициента трения f_{τ} в диапазоне 0,04...0,18. Аналогичный диапазон изменения данного коэффициента при использовании различных видов смазывающих охлаждающих жидкостей соответствует 0,11...0,22.

Отмеченное подтверждает наличие широкого диапазона возможного регулирования условий реализации процесса разделения труб на мерные длины за счет использования различного вида технологических смазок.

УДК 621.7:621.8+539.4

Бутаков Б. И., Марченко Д. Д., Зубехина А. В.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДАВЛЕНИЯ НА ПОВЕРХНОСТИ ПЛАСТИЧЕСКОГО КОНТАКТА РОЛИКА С ДЕТАЛЬЮ ПРИ ДЕФОРМАЦИОННОМ УПРОЧНЕНИИ

Влияние шероховатости обрабатываемой поверхности на закон распределения давления изучали ряд ученых, таких как Суслов А. Г.,

Папшев Д. Д. и др. При малых углах вдавливания роликов ($\varphi_a < 2,5^\circ$) исходная шероховатость поверхности частично остается после обкатывания, влияние шероховатости на закон распределения давления существенно. При больших углах вдавливания ($\varphi = 5 - 10^\circ$), когда исходная шероховатость поверхности полностью устраняется, закон распределения давления по поверхности в завершающей стадии нагрузки ролика не зависит от шероховатости.

Упругопластический контакт ролика и детали рассматривается, как правило, примерно, без учета действительной кривизны поверхности детали, пластически деформированной в результате вдавливания ролика. При этом контактное давление принимается распределенным по эллипсоидальному закону согласно теории Герца или постоянным, равным твердости материала. Истинный характер напряженного состояния в контакте при заданных параметрах взаимодействующих деталей и ролика может быть установлен экспериментально с использованием поляризационно-оптического метода. На основании закона Герстнера упругая деформация контакта, снятая после разгрузки, может быть восстановлена при повторной нагрузке той же силой. Поэтому для экспериментального исследования в качестве модели используют упругий контакт цилиндрического пуансона и плоской детали, на которой в результате пластической деформации образовано углубление цилиндрической формы немного большего радиуса, чем радиус пуансона.

Модели, изготовленные из оптически чувствительного материала, нагружают растущим усилием. При этом можно зафиксировать момент начала концентрации давления на краях отпечатка. Углубление в модели выполнено расточкой отверстия диаметром 60 мм на токарном станке и последующим опилением пластины с заданными размерами. Моделирующий пуансон-диск диаметром 57 мм изготавливали также из оптически чувствительного материала. Таким образом было изготовлено три модели с глубиной отпечатка h , равной 1,81; 0,46 и 0,11 мм, что соответствует углам вдавливания $\alpha = 20^\circ 30'$, 10° и 5° . Модели исследовали на поляризационной установке ППУ-4.

Эпюра давления в контакте диска и пластинки при усилии определялась интегрированием методом конечных разностей дифференциальных уравнений равновесия в прямоугольной системе координат.

На рис. 1 показаны расчетные сечения для модели с углом вдавливания $\alpha = 20^\circ 30'$. Сечение B совпадает с осью симметрии модели, сечение m – проходит через конец контактной площадки, сечения b , c , d – промежуточные. Горизонтальное сечение $a - a$ начинается в ненагруженной зоне и является дополнительным. Разделением напряжений вдоль сечения $a - a$ полученные нормальные напряжения σ_x , σ_y , которые затем используют в качестве исходных в сечениях B , b , c , d . Кроме основных, на рисунке показаны вспомогательные сечения и

расчетная сетка. В сечении m , что проходит в области высоких градиентов касательных напряжений, шаг сетки по x уменьшен вдвое для увеличения точности вычислений. Расчетная сетка нанесена на картину полос и изоклин, полученных при нагрузке модели усилием P_0 .

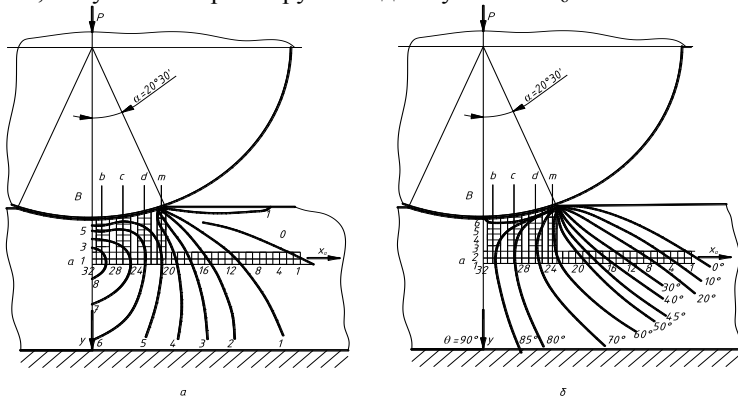


Рис. 1. Расчетные сечения для модели с углом вдавливания $\alpha = 20^\circ 30'$ при нагрузке $P = 2,31$ кН: a – соединены с картиной полос; b – соединены с картиной изоклин

Все расчеты по делению главных напряжений выполнены на ПЭВМ.

На рис. 2 для угла вдавливания $\alpha = 20^\circ 30'$ показаны эпюры нормального напряжения в контакте и в сечениях на разном расстоянии от поверхности контакта. Аналогичные эпюры получены для пластинки с углом вдавливания $\alpha = 10^\circ$ и 5° . Особенностью эпюр нормального напряжения при полном контакте для всех исследованных углов вдавливания является некоторое смещение максимальной ординаты от оси пластинки к краю отпечатка. Такой характер эпюр хранится в сечениях, расположенных на расстоянии от поверхности контакта, который не превышает $0,3l$, где l – длина линии контакта. В сечениях, удаленных от контура более чем на $0,3l$ эпюры имеют максимум на оси симметрии отпечатка.

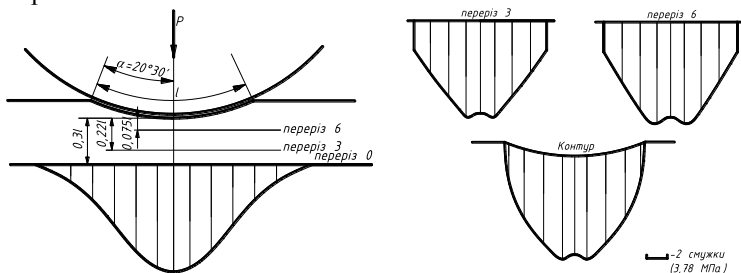


Рис. 2. Эпюры нормального напряжения в пластинке при угле вдавливания $\alpha = 20^\circ 30'$

Полученные данные показывают, что истинное распределение давления в контакте детали и ролика не является эллипсоидальным и в значительной мере отличается от равномерного. В момент полного контакта при усилении P_0 эпюра имеет максимум в точке, смещенной от оси для разных углов контакта на 0,2-0,4l, и постепенно уменьшается до нуля на краю отпечатка. Если усилие, прикладываемое к детали, превышает P_0 , то на крае отпечатка возникает зона концентрации напряжений (U_1), зависит от усилия и геометрических параметров кромки. В части свободного контура пластины, связанной с контактом, действуют растягивающие напряжения, максимальная величина которых составляет около 0,25 максимального касательного напряжения.

УДК 621.434:658.261

Литвин С. Н.

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И НАДЕЖНОСТЬ ПОРШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ РАБОТЕ НА ГАЗООБРАЗНЫХ ТОПЛИВАХ

Постоянный рост цен на энергоресурсы, нестабильное обновление и, как следствие, старение парка энергогенерирующего оборудования, а также его денационализация способствовали изменению подходов к модернизации данного оборудования и созданию новых мощностей, его эксплуатации. Сжигать топливо с целью получения только тепла стало не выгодно и потребителя данного оборудования сегодня уже интересует и стоимость топлива, и коэффициент его использования, и надежность эксплуатации, а также начальная стоимость оборудования и расходы на его обслуживание.

Поэтому возрос интерес к энергогенерирующему оборудованию на базе поршневых двигателей внутреннего сгорания, т. е. к когенерационным и тригенерационным установкам использующих дешевые, желательны возобновляемые, виды топлив. Данные установки имеют высокий коэффициент полезного действия в широком диапазоне мощностей, приемлемую стоимость, а также высокую мобильность и возможность поэтапного наращивания мощностей, а топливом для данных двигателей являются различные газообразные топлива (природный газ, генераторный и пиролизный газы, биогаз, шахтный газ и т. д.).

Использование газообразных топлив по сравнению с топливами нефтяного происхождения имеет ряд особенностей. Это связано с их физико-химическими и моторными свойствами, такими как вязкость, теплотворная способность, температура горения, пределы воспламеняемости в зависимости от концентрации смеси, детонационная стойкость. Нарушения рабочего процесса двигателя, приводящие к детонации двигателя вызывают повышение нагрузок на цилиндро-поршневую группу двигателя и напрямую влияют на его надежность.

На рис. 1 и 2 показаны разрушения, возникшие на двигателе 6ЧН25/34 в результате длительной детонации: на втулке рабочего цилиндра образовалась вертикальная трещина по всей ее длине (рис. 1) которая привела к повреждению боковой поверхности (задиру) поршня (рис. 2), заклиниванию его во втулке и обрыву по линии нижнего маслосъемного кольца.

Подобные отказы оказывают значительное влияние на эффективность использования когенерационных установок, как за счет повышения расходов на эксплуатацию поршневых двигателей в связи с увеличением расходов на запасные части, так и за счет их длительных простоев во время их восстановления после отказов, а часто и аварий, результаты одной с них приведены на рис. 1 и 2.



Фото 1. Втулка рабочего цилиндра с вертикальной трещиной двигателя 6ЧН25/34



Фото 2. Повреждение поршня двигателя 6ЧН25/34 в результате детонации

На основании изложенного можно сделать следующие выводы:

1. Детонация двигателей работающих на газообразных топливах может привести к серьезным отказам поршневых двигателей когенерационных установок.

2. Детонация, возникающая в цилиндрах газовых двигателей, вызывает снижение их надежности, возникновение аварийных ситуаций и приводит к ухудшению энергоэффективности когенерационных установок на их базе.

УДК 620.9:662.76-049.5

*Манзюк В. М., Литвин С. М.,
Слобожанський І. Й.*

ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ГАЗОВИХ ПАЛИВ В ЯКОСТІ МОТОРНИХ ЯК СКЛАДОВА ЕНЕРГЕТИЧНОЇ БЕЗПЕКИ УКРАЇНИ

На сьогодні в Україні в якості газових моторних палив найбільш поширені зріджений пропан-бутан, стиснений та зріджений природний

газ. Якщо пропан-бутану Україна виробляє достатньо для задоволення власних потреб, то з природним газом ситуація набагато складніша – власні запаси здатні забезпечити менше ніж третину потреб у цьому паливі, решту доводиться закуповувати у країн експортерів. У зв'язку з погіршенням взаємовідносин з Росією, яка на сьогодні є основним постачальником природного газу в Україну та підвищенням ціни, привабливість використання природного газу знижується. Україні доводиться переорієнтовуватися на інших постачальників газу (реверсні поставки газу зі Словаччини), а це потребує нових капіталовкладень та часу. Тому проблема використання більш дешевих моторних палив альтернативного походження стає ще більш актуальною в цих умовах. До альтернативних моторних газових палив можна віднести біогаз, шахтний газ, генераторний газ, коксовий газ, звалищний газ та інші види паливних газів і відходи масложирової промисловості. Перелічені гази, окрім шахтного метану, досить часто називають «низькокалорійними газами», оскільки через високий вміст негорючих газів їх теплота згорання є порівняно невисокою. Через вказаний недолік транспортування цих газів, як правило, є економічно невиправданим, тому їх застосування можливе лише в регіональному локальному масштабі (близько до місць концентрації сировини придатної для отримання). Називати природний і попутний гази альтернативними паливами сьогодні вже не можна, оскільки вони досить широко використовуються і йде пошук альтернативи їм.

Розглянемо питання виробництва і застосування деяких газів.

Біогаз – це продукт анаеробного бродіння відходів сільського господарства, комунального господарства, харчової промисловості, а також «енергетичних рослин» у спеціальних установках (ферментаторах). Основним горючим компонентом є метан – 30-60 %, негорючими компонентами є двоокис вуглецю – 10-20 % та азот – 40-50 %. Нижча теплота згорання біогазу знаходиться в межах 12600-26000 кДж/м³. Перед використанням біогазу в якості моторного палива він потребує обезводжування і очистки від сірководню та інших шкідливих компонентів. На сьогодні біогаз здебільшого використовується при виробленні електроенергії за допомогою поршневих двигунів та в когенераційних установках. За умови розділення біогазу на метан та інші компоненти виникає можливість його стиснення до тиску 20 МПа та використання як палива в автотранспорті (Швеція, Німеччина) або ж транспортування до інших споживачів по газопроводах (Австрія). Згідно з Лі 1. ст. 230 рентабельність очищення біогазу до якості природного газу виправдовує себе лише при значних об'ємах. Вважається, що система очищення є рентабельною для установок що виробляють біогазу більше 250 м³/год. При використанні біогазу в якості моторного палива є ряд проблем, основними з яких є зменшення ресурсу двигуна при

використанні палива зі значним вмістом сірки та складність регулювання двигуна із-за перемінного фракційного складу газу. В зв'язку з цим при використанні біогазу в якості моторного палива проєктанти двигунів приділяють багато уваги оптимізації температурного стану деталей циліндро-поршневої групи та стабілізації складу паливо-повітряної суміші за рахунок використання лямбда регулювання.

Генераторний газ, це штучне газоподібне паливо. Його можна одержати шляхом газифікації твердого палива або його сухою перегонкою. За допомогою газифікації і сухої перегонки твердих палив одержують: генераторний газ, змішаний, водяний, напівкоксвий, коксовий, світільний та інші гази. Всі ці гази є різновидами генераторного газу і їх властивості залежать від технології їх отримання. Склад генераторного газу залежить від палива, яке газифікується та умов в яких проходить процес (табл. 1).

Таблиця 1

Властивості генераторного газу

Паливо	Склад генераторного газу, % за об'ємом						Теплота згоряння, кДж/м ³
	CO	H ₂	CH ₄	CO ₂	O ₂	N ₂	
Дрова	28.5	14.0	3.5	8.0	0.5	45.5	5861
Деревне вугілля	30.5	12.0	2.3	5.0	0.2	50.5	5778
Торф	28.0	15.0	3.0	8.0	0.4	45.6	6280
Донецький антрацит	27.5	13.5	0.5	5.5	0.2	52.8	5024

Генераторний газ, одержаний за різними технологіями та із різних видів твердого палива, може бути використаний для роботи ДВЗ. Для роботи газогенераторів з метою одержання генераторного газу можна використовувати дрова, торф, деревне, буре та кам'яне вугілля, кокс і напівкокс, брикети з різних сільськогосподарських відходів (тирса, лузга тощо). Використанням генераторного газу на ряду з вирішенням питання енергозабезпечення віддалених населених пунктів у сільській місцевості вирішується і екологічна проблема утилізації відходів, у тому числі і органічного сміття. Генераторному газу окрім проблем властивих біогазу існує і проблема інерційності роботи газогенераторних установок. Процес переходу на новий режим роботи повинен бути поступовим, а не скачкоподібним.

Проаналізувавши властивості виробництва та застосування біо- та генераторного газів сформулюємо основні причини, що стримують їх широке впровадження:



Висновки

Головними критеріями при комплексному аналізі перспектив використання альтернативного палива має бути економічна доцільність, яка враховує: питомі витрати на паливо з урахуванням транспортних витрат та затрат на виробництво одиниці енергії, витрати на переобладнання двигуна для використання того чи іншого виду палива; додаткові витрати на обслуговування та ремонт переобладнаного двигуна; екологічні та соціальні аспекти їх використання. У паливному балансі України газоподібне паливо з кожним роком займатиме все вагоміше місце, при цьому перевага буде надаватися альтернативним газовим паливам, що дозволить знизити залежність країни від країн-експортерів енергоносіїв та забезпечити її енергетичну безпеку.

УДК 621.825

Соловійов С. М., Гурський А. М.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МАГНІТОРЕОЛОГІЧНОЇ МУФТИ

Магнітореологічні муфти (МРМ) та гальма (МРГ) є комбінацією фрикційної, електромагнітної порошкової та гідравлічної в'язкісної муфти. У ролі зчпного шару використовується магнітореологічна рідина (МРР).

Одними з основних характеристик цього типу механізмів є динаміка розгону і гальмування, швидкість і час спрацювання пристрою (включення та виключення).

У роботі було запропоновано теоретичну модель розгону веденої частини муфти. Експериментальні дослідження силових параметрів МРМ та їх теоретичні обґрунтування були наведені в роботах.

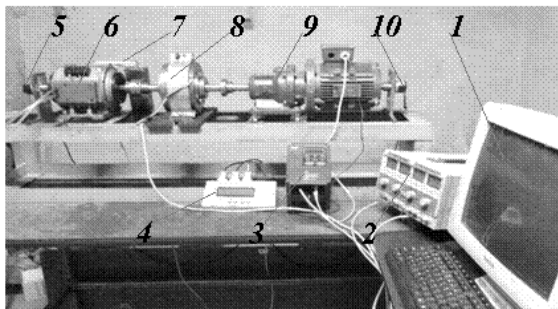


Рис. 1. Загальний вигляд експериментального стенду з дисковою МРМ:
1 – персональний комп’ютер; 2 – джерело живлення постійного струму;
3 – частотний перетворювач (інвертор);
4 – мікроконтролер для фіксування даних при розгоні і гальмуванні;
5, 10 – енкодери Autonics; 6 – електромагнітний навантажувальний пристрій;
7 – тензодатчик; 8 – експериментальна магнітореологічна муфта;
9 – планетарний мотор редуктор

Ведуться дослідження характеристик МРМ при розгоні і гальмуванні, за невеликі проміжки часу (0,05-0,1 с), зібрано експериментальний стенд (показаний на рис. 1) і розроблено експериментальні МРМ. Для аналізу динаміки розгону і гальмування веденої частини МРМ розроблено унікальний контролер із програмним забезпеченням.

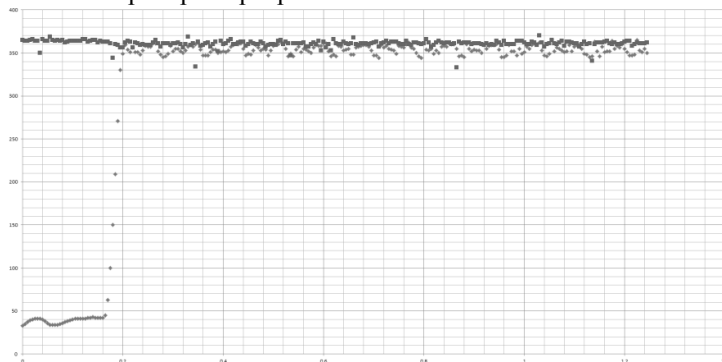


Рис. 2. Графік розгону веденої частини МРМ відносно ведучої частини. Магнітореологічна рідина із 20 % умістом магнітної фази, робочий зазор муфти 0,7 мм. Номінальна частота ведучої частини 350 об/хв. Час повного включення муфти, виходячи з даних, 0,05 с.

ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РЕШЕНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В ПРИЧЕРНОМОРСКОМ РЕГИОНЕ УКРАИНЫ

Энергоемкость валового внутреннего продукта Украины в 4-5 раз выше, чем в передовых развитых странах. Вопросы повышения эффективности использования энергоресурсов являются актуальными с момента приобретения независимости Украиной. Основные проблемы энергосбережения, характерные для всей Украины, имеют широкий спектр направленности, который для Причерноморского региона отражается в виде:

- 1) значительного износа производственного и жилого фондов (здания, теплотрассы, водоводы и т. д.);
- 2) высокой аварийности оборудования, обусловленной превышением их ресурса;
- 3) повышенных энергетических потерь при производстве, транспортировке и потреблении энергоресурсов;
- 4) отсутствия (в полном объеме) коммерческого и технологического учета энергоресурсов;
- 5) отсутствия стимулирующих факторов влияющих на проведение энергетических аудитов, результаты которых дают возможность увидеть, насколько эффективно используются энергоресурсы на предприятии;
- 6) отсутствия действенного механизма стимулирования энергосбережения и ответственности у лиц, деятельность которых связана с использованием энергоресурсов;
- 7) недостатка специалистов, имеющих необходимые профессиональные навыки и профильную подготовку в сфере эффективного и рационального использования энергоресурсов.

Возможности и пути решения проблем, которые связаны с повышением эффективности использования энергоресурсов в Причерноморском регионе, можно условно разделить на два уровня. Первый уровень предусматривает внедрение новейших энергоэффективных технологий (в частности ветроэнергетики, термоэлектроэнергетики и биоэнергетики) ориентированных на повышенные скорость ветра и солнечную радиацию, характерные природно-географическим особенностям Николаевской области. Второй уровень отличаются: совершенствование существующих технологических процессов и оборудования; проведение технических и организационных мероприятий с направленностью на мотивацию повышения эффективности использования энергоресурсов. В этом контексте для Николаевского региона должна быть проведена:

- разработка областной программы внедрения планов доктрины «Енергетична стратегія України на період до 2030 року» (Постановление КМ Украины № 145-р от 16.05.2006 г.) в части замещения газового нагрева системами аккумуляционного электронагрева;
- разработка областной программы внедрения систем солнечного горячего водоснабжения;
- разработка областной программы проведения энергетических аудитов на предприятиях государственной формы собственности, в бюджетных организациях (школы, больницы, административные здания);
- обязательность исполнения энергетического аудита, как эффективного механизма управления затратами;
- создание областного фонда стимулирования и внедрения энергосберегающих мероприятий (на основании энергетических аудитов) в первую очередь для объектов бюджетной сферы.
- разработка и внедрение областной программы установки счетчиков природного газа в жилых домах.

Без внедрения предложений по результатам энергетических аудитов все благие намерения могут остаться на бумаге.

Несомненный интерес представляет собой стимулирование энергосбережения, когда государство оплачивает, в частности, 50% затрат на термосанацию стен жилых зданий теплоизоляционными материалами. В конечном итоге, выигрывают все: жилой дом становится «теплым», государство закупает меньше природного газа, предприятия и население ощущают финансовую выгоду.

Хорошим стимулятором энергосбережения может служить установка счетчиков газа во всех квартирах жилых домов. Данное административное решение приводит к снижению потребления газа до 30%. Выполнение всех работ по энергосбережению должно заканчиваться оформлением энергосберегающего паспорта для промышленного и гражданского объекта, который необходимо контролировать с периодичностью, предусмотренной для подобных документов.

ЗМІСТ

ЕНЕРГО- ТА РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ І ТРИБОЛОГІЯ

Некоз О. І., Кіндрачук М. В. Розвиток наукової школи трибології Національного університету харчових технологій (до 130-річчя НУХТ)	3
Кузьменко А. Г. Новая концепция в трибологии	7
Чернець М. В., Чернець Ю. М. До питання про вплив умов зачеплення зубів прямозубої циліндричної передачі на контактну міцність при висотному коригуванні.....	8
Каплун В. Г., Машовець Н. С., Райхіль П. М. Підвищення трибологічних властивостей титану ВТ1-0 азотуванням у тліючому розряді	10
Диха О. В., Сорокатиий Р. В., Скрипник Т. К. Комп'ютерне моделювання умов роботи валу турбокомпресора ТКР-7Н1	11
Kukhar V. V., Vasylevskiy O. V. Physical modeling of technological characteristics at stretch forging of billets with rotation in combined dies	13
Соколова Г. М., Пастух І. М. Сучасний стан та перспективи розвитку технологій азотування у тліючому розряді	15
Аулін В. В., Лисенко С. В. Обґрунтування поведінки молекул мастильного середовища та формування його шару на поверхні елементів триботехнічних систем	17
Кіндрачук М. В., Лучка М. В., Лобурак В. Я., Гуменюк І. А. Зносостійкість як енергетична характеристика міцності матеріалу в зоні тертя.....	19
Кузьменко А. Г., Сабадаш Б. М. До визначення контактних тисків у підшипниках кочення	22
Стечишин М. С., Мартинюк А. В., Білецький О. О. Кавітаційно-ерозійна зносостійкість полімерних покриттів на основі поліпропілену та поліетилену	23
Чернець М. В., Чернець Ю. М. Вплив умов зачеплення зубів прямозубої циліндричної передачі на їх зношування при висотному коригуванні	24
Шалапко Ю. І., Слащук В. О., Слащук О. О. Дослідження матеріалів, що використовуються в гірничо-металургійній промисловості, на зношування в умовах малоамплітудного фреттингу	26
Аулін В. В., Тихий А. А. Врахування реологічних властивостей ґрунтового середовища при побудові моделі взаємодії з робочими органами ґрунтообробних та землерийних машин	27

Кубич В. И. Оценка функциональности смазочных слоев в трибологической системе «40X – (И-20А) – 40X».....	29
Гальчук Т. Н. Оптимізація складу композиційного матеріалу на основі порошку сталі ШХ15 для виробів антифрикційного призначення....	31
Кузьменко А. Г., Мукосий В. И. Учет пластического упрочнения и адгезии в контактной механике сдвига сжатых поверхностей	32
Диха О. В., Гедзюк Т. В. Обернена зносоконтактна задача для оцінки зносу змащених трибосистем	34
Прунько І. Б. Аналіз зносу штоків насосів установок нафтогазового технологічного транспорту.....	35
Каплун П. В., Гончар В. А. Вплив розміру абразивного зерна на зносостійкість шнеків при виготовленні комбикормів.....	37
Акимов И. В., Кубич В. И. Совместимость контакта графитизированных сталей со сталью 40X при трении без смазочного материала	38
Посонський С. Ф., Бабак О. П. Зміцнення поверхонь тертя з низьковуглецевих сталей електроконтактними методами	40
Сорокатиий Р. В., Дитинюк В. О. До питання чисельного моделювання і розв'язку задач трибології.....	41
Шевеля В. В., Александренко В. П., Косткевич Э. Э. Механохимические аспекты формирования фреттинг-поврежденности	42
Курской В. С., Пастух І. М., Курская В. О. Апаратна реалізація процесу циклічного комутування в умовах пікових навантажень	43
Аулін В. В., Кузик О. В. Нерівноважні фазові перетворення матеріалів в умовах лазерної обробки та їх вплив на триботехнічні характеристики	46
Матвійшин П. В. Дослідження зносостійкості конструкційних сталей в середовищі склонаповнених пластмас	48
Абрамов О. О., Козюк О. М. З'єднання мідних і алюмінієвих дротів на зварювальній машині МС-403 У4	49
Олександренко В. П., Білик Ю. М., Бережнюк А. К. Кавітаційно-ерозійна зносостійкість композиційних електролітичних покриттів на сталі 45 в жорсткій воді	51
Люховець В. В. Азотування в тліючому розряді деталей з малими отворами із застосуванням змінного живлення	52
Головока А., Клименко Л. П., Андреев В. И., Прищепов О. Ф. Методы снижения теплопроводности губчатого титана	53
Кухарь В. В., Лесовой М. О. Исследование внешнего контактного трения в технологическом процессе безотходного разделения гнутых профилей и труб	56
Бутаков Б. И., Марченко Д. Д., Зубехина А. В. Исследование давления на поверхности пластического контакта ролика с деталью при деформационном упрочнении.....	57

Литвин С. Н. Энергосбережение и надежность поршневого двигателя при работе на газообразных топливах	60
Манзюк В. М., Литвин С. М., Слобожанський І. Й. Використання альтернативних газових палив в якості моторних як складова енергетичної безпеки України	61
Соловійов С. М., Гурський А. М. Експериментальні дослідження магнітореологічної муфти.....	64
Вильський Г. Б., Захарченко В. В. Проблемы и пути решения энергосбережения в причерноморском регионе Украины.....	66

Технічний редактор *М. Шевчук*. Комп'ютерна верстка *А. Іщенко*.
Друк *О. Мішалкіна*. Фальцювальню-палітурні роботи *Ю. Шаповалова*.

Підп. до друку 02.06.2014 р.
Формат 70x84¹/₁₆. Папір офсет.
Гарнітура «Times New Roman». Друк ризограф.
Ум. друк. арк. 4,18. Обл.-вид. арк. 3,78.
Тираж 50 пр. Зам. № 4435.

Видавець і виготовлювач: ЧДУ ім. Петра Могили.
54003, м. Миколаїв, вул. 68 Десантників, 10.
Тел.: 8 (0512) 50-03-32, 8 (0512) 76-55-81, e-mail: rector@chdu.edu.ua.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3460 від 10.04.2009 р.

АДРЕСА ОРГКОМІТЕТУ:

**ОЛЬВІЙСЬКИЙ ФОРУМ – 2014:
СТРАТЕГІЇ КРАЇН ПРИЧОРНОМОРЬСЬКОГО РЕГІОНУ
В ГЕОПОЛІТИЧНОМУ ПРОСТОРІ**

Міжнародна науково-практична конференція

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

Тел.: (+380512) 50-03-33

(+380512) 50-03-32

(+380512) 76-55-99

Факс: (+380512) 50-03-33 / 50-00-69

E-mail: rector@chdu.edu.ua, rector@chdu.edu.ua,
avi@chdu.edu.ua, of@chdu.edu.ua

WEB: <http://www.chdu.edu.ua>

