

заедание ротора в корпусе. Условие возникновения граничного трения на этих участках описывается уравнением:

$$\arctg \frac{k}{2} = \arctg \frac{D-d}{2l} = \beta = \arctg f, \quad (10)$$

где k – конусность ротора (корпуса);

D и d – больший и меньший диаметр ротора (корпуса), м;

β – угол конусности, град; ρ – угол трения, град; f – коэффициент трения.

Разработана новая схема принудительной микротолчковой компенсации зазора (МПКТЗ), которая осуществляется принудительно один раз в сутки вместо одного раза в неделю. При этом имеет место жидкостное трение, что позволило заменить граничное трение жидкостным и полностью устранить досрочное снятие питателей с эксплуатации.

Выводы. 1. Установлено, что все рабочие сопрягаемые конические поверхности ротора и корпуса делятся на три характерных участка, на которых выполняются различные функции: 1-й участок – окна ротора и корпуса, на них приходится 40% всей площади; 2-й участок – рабочие поверхности между окнами, на них приходится 50% всех площадей и 3-й участок – основания и средние перемычки ротора и корпуса, на них приходится 10% всех поверхностей.

2. На первом участке выполняются следующие функции: 1) загрузка; 2) выгрузка; 3) формирование гидросмеси; 4) выравнивание концентрации щепы.

3. Впервые на примере роторных ПВД установок установлены закономерности выполнения функций на конических поверхностях конических трибосистем: на 40% осуществляются технологические операции; на 50% выполняются функции запорного устройства и на 10% имеет место граничное и жидкостное трение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Костецкий Б.Н. Надежность и долговечность машин / Костецкий Б.Н., Носовский Н.Г., Бершавский Л.Н. – Киев: Техника, 1975. – 408с.
2. Нечаев Г.Н. Повышение надежности и продуктивности загрузочных устройств непрерывности варки целлюлозы и полуцеллюлозы: монография / Нечаев Г.Н., Камель Г.И. – Луганск: Изд-во СНЧ им. В.Даля, 2005. – 392с.

Поступила в редколлегию 23.06.2014.

УДК 621.9.048

РЕВЕНКО Ю. М., к.т.н., доцент
ВОЛОДЬКО Є.С., студентка

Дніпродзержинський державний технічний університет

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗМІРНОЇ ОБРОБКИ ОТВОРІВ У ТВЕРДОСПЛАНИХ ДЕТАЛЯХ ПОЄДНАНИМ УЛЬТРАЗВУКОВИМ ТА ЕЛЕКТРОХІМІЧНИМ СПОСОБОМ

Вступ. Дана робота присвячена вирішенню ряду питань підвищення ефективності розмірної обробки твердосплавних деталей обладнання харчової промисловості (матриць макаронних пресів, ножів м'ясорубок та ін.) поєднанням ультразвуковим (УЗ) та електрохімічним (ЕХ) способом.

Постановка задачі. Мета роботи – на основі проведення досліджень поєднаної УЗ та ЕХ обробки твердих сплавів вивести залежність продуктивності обробки від її параметрів. Використання даної залежності дозволить розробити розрахунковий метод визначення раціональних режимів даної обробки. Це значно знизить трудомісткість, яка пов'язана з необхідністю по кожному концентратору-інструменту проводити скла-

дні експерименти для знаходження оптимальних режимів, що відповідають максимальній продуктивності та точності обробки твердих сплавів. Тому в умовах гострого дефіциту твердих сплавів, а особливо вольфрамомістких, та великої трудомісткості їх розмірної обробки ця проблема є досить актуальною.

Результати роботи. Як випливає із назви, ця комбінована обробка складається з двох простих методів: УЗ-го та ЕХ-го. Здавалося б, поєднавши ці два методи в один, можна забезпечити продуктивність, що дорівнювала б їх сумі. Насправді ж продуктивність поєднаної обробки у декілька разів вища від суми продуктивностей її складових. Це зростання продуктивності, у літературних джерелах назване „ефектом підсумовування” Марковим А.І. та ін. [1-3], пояснюється розчиненням кобальтової зв’язки твердого сплаву, що призводить до ослаблення карбідного скелету і цим полегшує процес УЗ руйнування оброблюваного матеріалу. Основна роль у підвищенні продуктивності поєднаної обробки більшістю дослідників відводилась її УЗ складовій. Проте через відсутність згаданої вище залежності до теперішнього часу не встановлені у кількісному вираженні долі УЗ та ЕХ складових у поєднаній обробці твердого сплаву, що необхідно знати для керування цим процесом. Це пов’язано з виключною складністю процесів, що проходять у зоні різання, де одночасно спостерігаються електрохімічні, електрофізичні, гідродинамічні, теплофізичні і чисто механічні явища.

Для розв’язання цієї задачі авторами [4, 5] запропоновано гіпотезу: підвищення продуктивності поєднаної обробки твердих сплавів порівняно із сумою продуктивностей її складових, здійснюваних окремо одна від одної, відбувається у результаті їх взаємної інтенсифікації. Функціональну залежність продуктивності поєднаної обробки від її параметрів можна виразити, спираючись на дану гіпотезу, наступною структурною формулою:

$$M_{\text{поєдн.}} = M_{\text{ЕХ}} \cdot K_A \cdot K_{\xi} + M_{\text{УЗ}} \cdot K_i \quad (1)$$

де $M_{\text{ЕХ}}$ – продуктивність ЕХ обробки;

$M_{\text{УЗ}}$ – продуктивність УЗ обробки;

K_A, K_{ξ}, K_i – показники, що виражають міру взаємної інтенсифікації процесів УЗ і ЕХ обробок та дозволяють ввести технологічні параметри ЕХ обробки у формулу продуктивності УЗ обробки і навпаки.

Перший доданок в правій частині рівняння (1) є долею ЕХ знімання, а другий – долею УЗ складової. Теоретична залежність продуктивності $M_{\text{УЗ}}$ від режимів УЗ обробки, що найточніше відображає процеси в зоні різання, була виведена Поляковим З.І. та Вшивцовим А.Н. і має наступний вигляд [6-8]:

$$M_{\text{УЗ}} = 0,25 \cdot K_1^2 \cdot K_{\Phi} \cdot N \cdot \rho^{1,5} \cdot f \cdot \eta^{-3} \cdot D^{-1} \cdot K_i \cdot \gamma_{\text{max}}^{5,608} \cdot (K_{\Pi} \cdot \gamma_{\text{max}}^{0,84} - \delta_{\text{поч}}) \times \\ \times \exp \left[-(\xi - \xi_{\text{max}})^2 \cdot (\sqrt{2} \cdot D)^{-2} \right], \quad (2)$$

де K_1 – коефіцієнт, що характеризує твердість оброблюваного матеріалу;

K_{Φ} – коефіцієнт форми виколу при впровадженні зерна абразиву в поверхню деталі;

N – число абразивних зерен у робочому зазорі;

ρ – радіус округлення абразивних зерен;

f – частота коливань;

η – пружна постійна матеріалів деталі, абразиву та інструменту, залежна від коефіцієнта Пуассона і модуля Юнга цих матеріалів;

D – дисперсія розподілу розмірів зерен, що беруть участь в обробці;

K_i, K_{Π} – розрахункові коефіцієнти;

Y_{max} – максимальне зближення торця інструмента з деталлю;
 $\delta_{поч}$ – сумарна пружна деформація, при якій на деталі з'являється кратер;
 $\bar{\xi}$ – середній арифметичний розмір абразивних зерен, що беруть участь в обробці;
 ξ_{max} – максимальний розмір абразивних зерен.

Максимальне зближення торця інструмента з деталлю знаходиться з формули:

$$Y_{max} = 2,06 \cdot P^{0,3} \cdot A^{0,164} \cdot \eta^{0,3} \cdot D^{0,3} \cdot \rho^{-0,15} \cdot N^{-0,3} \cdot K_{\Pi}^{-0,3} \times \\ \times \exp[0,15 \cdot (\bar{\xi} - \xi_{max})^2 \cdot D^{-2}], \quad (3)$$

де P – зусилля подачі;

A – робоча амплітуда;

M_{EX} – продуктивність ЕХ обробки, що визначається із виразу [8]:

$$M_{EX} = \theta \cdot C \cdot I \cdot t, \quad (4)$$

де θ – вихід по струму при анодному розчиненні твердого сплаву;

C – електрохімічний еквівалент, г/А·с;

I – сила струму, А;

t – час електролізу, с.

Вихід по струму в структурній формулі (1) має такі визначення, які відповідають анодному розчиненню твердого сплаву (ТС) без впливу на цей процес УЗ чинників (тобто без накладання УЗ поля на електроліт і наявності в ньому абразиву). Це необхідно для встановлення значень коефіцієнтів K_A та K_{ξ} , що входять в залежність (1). Міжелектродний зазор (МЕЗ) повинен за абсолютною величиною відповідати умовам поєднання УЗ і ЕХ обробок. Характер впливу УЗ поля на підвищення швидкості ЕХ розчинення металів викладено у працях учених В.В.Скорчеллеті, А.М.Гінберга, Н.М.Іванова та ін. [9-11]. Згідно з цими дослідженнями накладання УЗ поля на електроліт збільшує продуктивність ЕХ обробки за рахунок підвищення:

1. Електропровідності електроліту (зменшуються кінематична в'язкість, електрофоретичні та релаксаційні сили [11], інтенсивніше віддаляються продукти розчинення МЕЗ, відбувається незначна активація анодної поверхні за рахунок кавітації (знищується окисна плівка) [10].

2. Виходу по струму в результаті зменшення рівноважного потенціалу анода [9] і зменшення концентраційної та ЕХ поляризації [10] за рахунок інтенсивного перемішування електроліту ультразвуком.

Зміна рівноважного потенціалу анода пояснюється наступним: у нейтральних і лужних електролітах при накладанні на них ультразвукового поля підвищується водневий показник pH , тобто збільшується концентрація гідроксильної групи, знижуючи цим рівноважний потенціал анода $\varphi_p = \varphi_{ст} - 0,59pH$, а отже більше енергії йде на електроліз, що призводить до збільшення виходу по струму.

Облік усіх цих чинників у структурній формулі (1) передбачено введенням у неї відносного показника K_A , який відображає міру інтенсифікації ЕХ розчинення оброблюваного матеріалу за рахунок впливу на нього ультразвукового поля.

Збільшення ЕХ знімання матеріалу відбувається також за рахунок депасивації анодної поверхні абразивними зернами, що знаходяться в електроліті у виваженому етапі.

Інтенсифікація ЕХ обробки за допомогою абразивної депасивації оброблюваної поверхні (тобто видалення окисної плівки, що має великий омичний опір) була врахована відносним показником K_{ξ} .

Вплив щільності струму на УЗ складову, що проявляється в ЕХ розчиненні кобальтової в'язки і отже, в зменшенні зв'язку між зернами карбідів металів та міцності карбідного скелета), виражено в запропонованій формулі відносним показником K_f .

Після підстановки в структурну формулу (1) залежностей (2) і (3) вона прийме наступний вигляд:

$$M_{\text{поєдн.}} = \theta \cdot C \cdot I \cdot t \cdot K_A \cdot K_f \cdot 0,25 \cdot K_1^3 \cdot K_\phi \cdot N \cdot \rho^{1,5} \cdot f \cdot \eta^{-3} \cdot D^{-1} \cdot K_i \cdot \gamma_{\text{max}}^{5,608} \times \\ \times (K_{\text{п}} \cdot \gamma_{\text{max}}^{0,84} - \delta_{\text{поч}}) \cdot \exp \left[-(\bar{\xi} - \xi_{\text{max}})^2 \cdot (\sqrt{2} \cdot D)^{-2} \right] \cdot K_i, \quad (5)$$

Таким чином, вивчення досліджень, проведених в області УЗ і ЕХ, а також поєднаної УЗ і ЕХ обробки металів, дозволили встановити функціональну залежність (5) продуктивності від параметрів поєднаної обробки ТС, що враховує більшість відомих чинників, які впливають на ефективність обробки.

Значення відносних показників K_A , K_f та K_i визначені автором експериментально, ці дані наведені в роботі [5]:

$$K_A = 1 + 0,6 \cdot (1 - 10^{-239A}); \quad (6)$$

$$K_f = 3 - 0,2(\xi - 10)^2; \quad (7)$$

$$K_i = 1 + 5(1 - 10)^{-0,0159i}, \quad (8)$$

де A – робоча амплітуда, мкм;

ξ – зернистість абразиву;

i – густина току, (А/м²·10⁻⁴).

Після підстановки у вираз (5) відносних показників (6)-(8) отримуємо остаточний вигляд залежності продуктивності поєднаної УЗ і ЕХ обробки твердих сплавів від її технологічних параметрів (i , A та ξ):

$$M_{\text{поєдн.}} = \theta \cdot C \cdot I \cdot t \cdot [1 + 0,6 \cdot (1 - 10^{-239A})] \cdot [3 - 0,02 \cdot (\xi - 10)^2] + \\ + 0,25 \cdot K_1^3 \cdot K_\phi \cdot N \cdot \rho^{1,5} \cdot f \cdot \eta^{-3} \cdot D^{-1} \cdot K_i \cdot \gamma_{\text{max}}^{5,608} \cdot (K_{\text{п}} \cdot \gamma_{\text{max}}^{0,84} \cdot \delta_{\text{поч}}) \times \\ \times \exp \left[-(\bar{\xi} - \xi_{\text{max}})^2 \cdot (\sqrt{2} \cdot D)^{-2} \right] \cdot [1 + 5 \cdot (1 - 10^{-0,0159i})], \quad (9)$$

Оскільки поєднана обробка використовується переважно в якості чорнової операції, то оптимальними режимами будуть такі, що відповідають максимальній продуктивності при заданих точності обробки і шорсткості обробленої поверхні.

За допомогою виразу (9) можна оперативно на ЕВМ розрахувати оптимальні режими, що відповідають максимальній продуктивності обробки твердих сплавів.

При необхідності для того, щоб збільшити точність оброблюваних отворів у твердих сплавах, потрібно використовувати більш ефективний склад електрода ДИИ-1 [12], який у порівнянні з відомими підвищує точність поєднаної УЗ та ЕХ обробки твердих сплавів у 2 рази [13]. А так як при цьому можливе поєднання чистових та чорнових операцій, то відповідно в результаті збільшиться продуктивність обробки за рахунок зниження штучного часу, а також збільшиться конкурентоздатність цього перспективного методу.

Висновки. Отримана залежність (9) дозволяє оперативно на ЕВМ розрахувати оптимальні режими, що відповідають максимальній продуктивності поєднаної УЗ та ЕХ розмірної обробки твердосплавних деталей. Окрім цього, вона дає можливість вста-

новити кількісне вираження долі УЗ та ЕХ складових у поєднаній обробці твердих сплавів, які необхідно знати для керування цим процесом та подальшого його вдосконалення як з підвищення продуктивності обробки, так і її точності.

ЛІТЕРАТУРА

1. Марков А.И. Ультразвуковое резанье труднообрабатываемых материалов / Марков А.И. – М.: Машиностроение, 1968. – 387с.
2. Коваленко В.С. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов / Коваленко В.С. – К.: Вища школа, 1975. – 236с.
3. Мечетнер Б.Х. Ультразвуковая и комбинированная ультразвуковая и электрохимическая обработка деталей на станке мощностью 1,6 кВт: технологическое руководство / Мечетнер Б.Х., Манин М.И. – М: ЭНИМС, 1978. – 60с.
4. Исследование обработки прецизионных отверстий $\varnothing 1 + 12 \text{ мм}$ в твердом сплаве совмещенной УЗ и ЭХ методом вращающимся инструментом / Рук. З.И.Поляков, исп. Ю.М.Ревенко // Отчет ЧПИ: № г.р.Б489039. Изв. № 3128. – Челябинск, 1974. – 35с.
5. Ревенко Ю.М. Повышение эффективности обработки совмещенным ультразвуковым и электрохимическим способом / Ревенко Ю.М. – Днепродзерж. инд. ин-т. – Днепродзержинск, 1980. – 6 с. – Деп. В УкрНИИТИ 11.03.1980, №2068-Ук80.
6. Вшивцов А.В. Выбор режимов максимальной производительности размерной ультразвуковой обработки: дис...канд. техн. наук: 05.03.01 / Вшивцов А.В. – Челябинск, 1975. – 238с.
7. Поляков З.И. К расчету производительности ультразвукового резания / З.И.Поляков, А.В.Вшивцов // Научные основы автоматизации производительных процессов в машиностроении и приборостроении: 4-я Всесоюз. конф., 1-2 февр. 1974 г.: материалы конф. – М., 1974. – С.30-35.
8. Вшивцов А.В. Разрушение хрупких материалов при импульсных контактных нагрузках / Вшивцов А.В., Поляков З.И., Ревенко Ю.М. // Технология машиностроения. – Т.: ТПИ. – 1974. – № 34. – С.168-174.
9. Скорчеллетти В.В. Теоретическая электрохимия / Скорчеллетти В.В. – Л.: Наука, 1959. – 608с.
10. Гинберг А.М. Ультразвук в химических и электрохимических процессах машиностроения / Гинберг А.М. – М.: Машиностроение, 1962. – 160с.
11. Иванов Н.М. Дисперсия электропроводности электролита в ультразвуковом поле. Размерная электрохимическая обработка / Иванов Н.М. – Г.: ГПИ, 1969. – 520с.
12. А. с. 833422 СССР, (51)М Кл.³ В 23 Р 1/16, В 06 В 3/00. Электролит абразивонесущий для совмещенной ультразвуковой и электрохимической обработки твердых сплавов / Ю.М.Ревенко, В.И.Черный (СССР). – Опубл. 30.05.81; Бюл. № 20.
13. Ревенко Ю.М. Усовершенствование метода размерной обработки отверстий в твердосплавных деталях оборудования пищевого машиностроения / Ревенко Ю.М. // Сборник научных трудов Днепродзержинского государственного технического университета (технические науки). – Днепродзержинск: ДГТУ. – 2007. – С.73-78.

Надійшла до редколегії 03.06.2014.