

Решение системы (8) в общем виде можно записать следующим образом:

$$\begin{aligned} X &= B_1 \exp(r_1 t) + B_2 \exp(r_2 t) \\ Y &= D_1 \exp(r_1 t) + D_2 \exp(r_2 t) \end{aligned} \quad (9)$$

где r_1 и r_2 - корни уравнения системы, а B_n и D_n - неизвестные коэффициенты.

Таким образом, данный метод позволяет исследовать в квазистационарном приближении все перекрестные эффекты, имеющие место в бинарных газовых смесях при произвольных числах Кнудсена.

Список литературы

1. С. Де Гроот. Термодинамика необратимых процессов / Пер с англ. - М.: ГИТТЛ, 1956.-281 с.
2. Неравновесная термодинамика : пер. с англ./С. Р. де Гроот, П. Мазур; под ред. Д. Н. Зубарева. - М.1964, 452 с.
3. V. Akinshin, V. Kalinin, E. Kalinin, V. Seleznev. Flat Flow of Binary Gas Mixture at Arbitrary Rarefaction. 13th International Symposium on Rarefied Gas Dynamics.- Novosibirsk, July 5-9, 1982, Vol.2, p.504-505.
4. T.I. Veretelnik, N.V. Solomaha. Getting thermodynamics equilibrium in binary gas mixtures for arbitrary Knudsen number. Contributed papers IV International school-seminar "Nonequilibrium processes and their applications", Minsk, Belarus, 1988, p.145-147.
5. Е.П. Агеев. Неравновесная термодинамика.- М.: Из-во МЦНМО, 2005.-160с.

УДК 621.875

Хорошуля М. В., Блощин М.С., к.т.н., доц., Головка Л.Ф., д.т.н., проф.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

СТРУМИННІ ТЕЧІЇ ЕЛЕКТРОЛІТУ ПРИ ЕЛЕКТРОЛІТНО-ПЛАЗМОВОМУ ПОЛІРУВАННІ СИЛОВОЇ ОПТИКИ ЛАЗЕРНИХ СИСТЕМ

За допомогою електролітно-плазмового обробки ефективно вирішуються багато завдань фінішної обробки металевих виробів. Разом з тим залишається невиршеним ряд технологічних питань, які обмежують широке застосування електролітно-плазмового полірування в виробничих умовах [1, 2]:

- обмеження розмірів оброблюваних виробів, яке пов'язане з обмеженими габаритами робочої ванни;
- величина електричного струму, яка може перевищувати допустимі межі;
- обробка довгомірних виробів (стрічки, труби, дріт і ін.);
- неможливо обробляти внутрішню поверхню пустотілого виробу або поверхню в глибоких отворах і порожнинах.

Для вирішення зазначених завдань є ефективним використання струменевих течій електроліту, які дають можливість суттєво розширити технологічний спектр електролітно-плазмового впливу і номенклатуру оброблюваних деталей. При цьому площа катода повинна бути в рази більшою за площу поверхні полірування, в іншому разі відбувається зривання процесу з імпульсного на дуговий, що унеможливує використання даного процесу для фінішного полірування дзеркальних поверхонь. Виходом з положення пропонується подача струменю електроліту вертикально вгору з обов'язковим профілюванням електроду – інструменту.

На відміну від звичайної електрохімії, (крізь в'язкий шар) при електроплазмовому поліруванні використовують нейтральні не концентровані розчини солей. При цьому вода є джерелом гідроксогрупи та водню з відповідними наслідками [3].

Метод електролітно-плазмового полірування заснований на електророзрядних явищах в системі «метал-електроліт», при цьому деталь, що обробляється є анодом [4, 5]. Полірування металів відбувається в області напруги 200-350 В і густини струму 0,2..0,5 А/см². При напрузі понад 200 В навколо анода при переході від бульбашкового кипіння до плівкового утворюється стійка тонка (20-100 мкм) парогазова оболонка. Напруженість

електричного поля у парогазовій оболонці досягає 10^4 - 10^5 В/см. У парогазовій оболонці протікає складний комплекс фізико-хімічних процесів (плівкове кипіння в електричному полі, теплоперенос, іонізація парів, рух електричних зарядів). Поблизу мікрровиступів напруженість електричного поля зростає, і на цих ділянках виникають мігруючі по поверхні мікроплазмові розряди, які забезпечують комплексне хімічне і фізичний вплив на матеріал поверхні виробу. У мікророзрядах виділяється значна енергія і спостерігається інтенсивний процес зниження висоти мікронерівностей поверхні, що призводить до її полірування. Електролітно-плазмового полірування дозволяє обробляти тонкостінні і складні по геометрії поверхні на порівняно простому обладнанні.

Вибухи основних та додаткових електролітних містків супроводжує ударна хвиля і утворенням мікроскопічної парогазової бульбашки в парогазовій оболонці (ПГО). Під дією ударної хвилі тиск в електроліті з боку ПГО різко зростає і електроліт, що межує з ПГО в цій локальній області відкидається від поверхні анода. Товщина ПГО в цій області збільшується. У тонкому прикордонному шарі електроліту зароджується мікропотік. У початковий момент часу швидкість руху мікропотіку досить висока, що викликає зниження тиску. На деякій відстані від ПГО в результаті зниження швидкості руху мікропотік під дією сил тертя тиск в мікропотіці підвищується до рівня тиску в основному обсязі електроліту в цій локальній області. Перепад тисків може привести до виникнення в прианодній області електроліту гідродинамічної кавітації. Кавітаційна бульбашка, переміщаючись з мікропотіку в область з більш високим тиском, схлоплюється, випромінюючи при цьому ударну хвилю. Сукупна дія ударних хвиль від вибухів електролітних містків і від схлопування кавітаційних бульбашок сприяє виникненню вібрації ПГО і формування гідродинамічних потоків в електроліті.

При вибуху електролітних містків в ПГО попадає водяний пар, розчинені в електроліті гази, нейтральні кластери, що складаються переважно з молекул води, а також молекули компонентів розчину електроліту та заряджені частинки (іони). Від'ємно заряджені іони під дією електричного поля починають рухатись в ПГО в напрямку аноду, а додатньо заряджені іони в напрямку катоду (електроліту). В ПГО виникає електричний струм, визваний іонною провідністю газової фази ПГО. Вдається забезпечити полірування заготовок з одно- і багатофазних сплавів, зокрема з латуні, в режимі електролітно-плазмового нагріву з доданням поверхні дзеркального вигляду. Однак більшість вчених, що займаються дослідженням процесу полірування металів і сплавів у водних електролітах при високій напрузі обробки, обґрунтовано вважають, що високої якості поверхні можна досягти тільки в електрогідродинамічному режимі обробки.

Однак недостатня вивченість механізму електричної провідності ПГО, тісно корелює з механізмами знімання металу і формування топографії, і суперечливість наявних експериментальних даних стримують розробку нових вискоєфективних технологій ЕПП, що забезпечують формування поверхні деталей із заданим комплексом механічних властивостей, точності, геометричних параметрів якості та експлуатаційних характеристик [6].

Окремі роботи також свідчать про те, що підвищити ефективність процесу можна за рахунок оптимізації явищ гідродинамічного характеру, про що свідчать роботи у галузі розмірної обробки дугою. Запропоновано виконувати електронно-плазмові полірування із використанням засобів струминної техніки. При цьому електроліт має надходити до поверхні за рахунок ежектування крізь кільцеве сопло, в зовнішній порожнині якої циркулює електроліт.

В ряді робіт показано, що зміна умов натікання рідини на поверхню певними чином активізує поверхневий шар, отже, змінюючи режими течії по поверхні можемо керувати інтенсивністю процесу полірування, забезпечуючи як мікро- так і субмікрогеометричні характеристики поверхневого шару.

Для виконання обробки запропоновано нову конструкцію струминного пристрою із кільцевим каналом, що використовує принцип формування струменя кільцевим соплом і

має істотні відмінності від конструкції, розробленої компанією Synova. Застосування запатентованої системи дозволяє використовувати різні форми насадок, що значно розширює технологічні можливості даного методу.

З метою визначення умов формування потоку кільцевими соплами розроблено спеціальний пристрій, що використовує низько потужний лазер. За плямою у зоні контакту струменя електроліту із оброблюваною поверхнею можна судити про умови течії струменя та про характер явищ електролітно-плазмового полірування.

При вимірюванні світлового потоку в струмені рідини з використанням сопел різного поперечного перерізу використовували аналогово-цифровий перетворювач m-DAQ, фоторезисторний місток, побудований на ФСД-1, еспанзомат AQUAPRESS AFC24SBA, джерело лазерного випромінювання BGP-3010 (532nm, 100mW), детурбулізатор, імітаційну установку, реалізовану за принципом подібності, що дозволило проводити зняття картин розподілу випромінювання при виділенні рідини з сопел з великим діаметром на зрізі (близько 2 мм). Величина світлового випромінювання фіксувалася за допомогою фоторезистора ФСД-1, а картина розподілу випромінювання – матрицею фотоапарата Canon PowerShot A110. Дані знімалися в автоматичному режимі АЦП m-DAQ.

Представлено удосконалену конструкцію нового технічного пристрою для електролітно-плазмового полірування. В основу розробленої моделі головки для закладено принцип використання кільцевого сопла. Одним з основних елементів даної конструкції є оригінальний механізм, збудованому за принципом роботи щілинного золотника кільцевого типу, що дозволяє регулювати кількість рідини, яка витікає з сопла, та впливати на течію потоку при формуванні струменя. При подачі рідини до кільцевого сопла можливо вибрати один з шести варіантів підводу рідини, змінюючи число Рейнольдса, і, відповідно, режим течії рідини, та інтенсивність обробки, її якість. Отримано закономірності розподілу потоку по поверхні натікання, встановлено зони максимально ефективного полірування.

Список літератури

1. Силькевич Ю. В. [и др.]. *Электроимпульсное полирование на основе железа, хрома и никеля* / – Минск : БНТУ, 2014. – 325 с. – ISBN 978-985-550-516-2.
2. *Метод Чачин В.Н.* [и др.]. Электроимпульсного полирования сталей и цветных металлов / Минск: БелНИИНТИ Госплана БССР, 1987. – 4 с. – (Информац. листок БелНИИНТИ Госплана БССР о науч.-техн. достиж. № 87–150).
3. *Способ электрохимической обработки металлических изделий, преимущественно из меди и медных сплавов, под гальванические покрытия*: пат. 8424 Респ. Беларусь, МПК7 С 25F 3/16 / И.С. Куликов, А.Я. Каменев, В.Л. Ермаков, Л.А. Климова; Гос. науч. учреждение «Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны» Национальной академии наук Беларуси – № 20031087; заявл. 25.11.2003; опубл. 30.08.2006 // Афцыйны бюл. / Нац. центр інтэлектуал. уласнасці. – 2006.
4. *Способ электролитно-плазменной обработки деталей*: пат. 2357019 Рос. Федерация, МПК С 25 F 3/16 / А.М. Смыслов, М.К. Смылова, А.Д. Мингажев, К.С. Селиванов, В.Ю. Гордеев, И.Н. Цыбулина, О.Н. Симин, А.С. Лисянский, Д.Р. Таминдаров; ООО. «НПП Уралавиаспецтехнология». – № 2007112558; заявл. 04.04.2007; опубл. 27.05.2009 // Официальн. бюл. / Федеральная служба по интеллектуальной собственности и, патентам и товарным знакам. – 2009.
5. *Способ электролитно-плазменной обработки деталей*: пат. 2355828 Рос. Федерация, МПК7 С 25 F 3/16 / А.М. Смыслов, М.К. Смылова, А.Д. Мингажев, К.С. Селиванов, В.Ю. Гордеев, С.П.Павлинич; «НПП Уралавиаспецтехнология». – № 2007115768; заявл. 25.04.2007; опубл. 20.05.2009 // Официальн. бюл. / Федеральная служба по интеллектуальной собственности и, патентам и товарным знакам. – 2009.
6. *Бирич, В.В. Повышение интенсивности процесса электро-импульсного полирования ультразвуковыми колебаниями* / В.В. Бирич, Ю.В. Силькевич, А.В. Бирич // Перспективные направления развития технологии машиностроения и металлообработки: тез. докл. Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 10–11 апреля 2013 г. / БНТУ; редкол.: В.К. Шелег (отв. ред.) [и др.]. – Минск, 2013. – С. 15–16.