

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЛАЗЕРНОЇ ОБРОБКИ НА АДСОРБЦІЙНУ ЗДАТНІСТЬ ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ

Аулін В.В. Касяненко О.В. (каф. ЕРМ, КДТУ. м. Кіровоград. Україна)

Постановка проблеми. Відомо [1-3], що сплави на основі титану застосовуються як конструкційні матеріали в різних галузях промисловості й те, що вони мають високу питому міцність й стійкість проти корозії, але низькі антифрикційні властивості. Деформовані шари сплавів на основі титану в процесі експлуатації є реактивними й поглинають гази з навколишнього середовища, особливо це стосується водню, поглинання якого збільшує крихкість, підвищує диспергування поверхневих шарів деталі, що суттєво збільшує зношування її робочої поверхні [1, 2]. Тому розробка і дослідження способів, якими можна керувати, процес поглинання газів титановими сплавами є актуальними як з точки зору науки, так і практична.

Мета та задачі дослідження. В даній роботі розглядається вплив лазерної обробки на здатність титанових сплавів поглинати водень, кисень, азот з навколишнього середовища, а також їх зносостійкість.

Методика досліджень. Вибір титанових сплавів обумовлений дослідженням фізико-хімічних процесів в матеріалах й потребою подальшої розробки оптимальних режимів лазерного зміцнення деталей.

Дослідженню підлягали сплави: BT5, BT5-1, BT8, BT14, BT-22. Вихідним матеріалом для вивчення особливостей впливу лазерного випромінювання був вибраний хімічно чистий титан BT1 – 00.

Лазерну обробку зразків проводили на технологічній установці ЛГН-702, яка генерує безперервне випромінювання ($\lambda=10,6$ мкм), в режимах без оплавлення поверхні. При цьому технологічні параметри змінювали у межах: потужність випромінювання - 0,4...1,0 кВт; діаметр пучка - 0,5...10 мм; швидкість переміщення - 15...40 мм/с.

Зміни в поверхневих шарах зразків вивчали як після лазерної обробки, та і після їх тертя в газових і рідинних середовищах: в повітрі, морській воді, трансформаторному маслі.

Дослідження фазового складу сплавів проводили на дифрактометрі “Дрон-3М” у α -Со випромінюванні при напрузі на трубі 30кВ і струму 40мА.

Для аналізу хімічного складу поверхні зразків використовували спектри ковалентних оже-електронів [4]. В даній роботі оже-електронні спектри знімали на електронному високовакуумному спектрометрі ES-300 фірми “Kratos” з розподільчою здатністю приладу – 0,95eV для лінії Ag3d_{5/2}. Автоматизовану обробку даних здійснювали на установці “Nicolet”, яка дозволяє багатократно накопичувати сигнал.

За еталонний прийнято зразок з неопроміненого технічно чистого титану. Елементний склад шару за глибиною вивчали послідовним іонним стравлюванням. З огляду на те, що спектрометр ES-300 комбінує оже-електронні і рентгено-фотоелектронні спектральні методи в роботі поряд з оже-електронними спектрами знімали і рентгенівські фотоелектронні спектри.

Рентгенівський спектральний мікроаналіз (РСМА) проводили на приладі “Superprobe-733” фірми “Jeol” за допомогою скануючого електронного мікроскопу JSM-35 і приставки для мікроаналізу DDS-35.

Аналіз здійснювали як за точками, так і неперервно вздовж прямої, перпендикулярної до поверхні згідно методики, описаної у роботі.

Випробування на зношування проводили на модернізованій машині МІ-1М за схемою “ролик – спряжена колодочка” при навантаженні 0,5...3,0 МПа і швидкості ковзання 0,1...1,0 м/с. Перед початком випробувань зразки припрацьовувались протягом 30 хв до стабілізації моменту тертя і температури в зоні тертя. Як контртіло при дослідженні за схемою “ролик-спряжена колодочка” використовували колодочку з бронзи БрОЦС-5-5-5, що підлягала стиранню. Величину зносу визначали за зміною маси зразків через кожні 1000 м шляху випробування. Зважування проводили на аналітичних дамперних терезах з електричним підсвічуванням ВЛА200М, з точністю до 0,1мг. Перед зважуванням зразки промивали у етиловому спирті. Досліджували поверхні тертя також приладами ПМТ-3 і “Neophot-21”.

Мікроструктуру досліджуваних зразків вивчали за допомогою мікроскопів МИМ-8М і “Neophot-21” при збільшенні 150...900 разів. Для надійності результатів досліджень були виготовлені шліфи з косим зрізом, які полірували за допомогою алмазних паст зернистістю від 30 до 1 мкм. Для виявлення мікроструктури здійснювали як хімічне так і електро-хімічне травлення.

Оцінку мікротвердості окремих фаз, або структурних складових зразка у роботі проводили дюрOMETричні дослідження. Поверхню зразка для визначення мікротвердості готували так само, як і при дослідженні мікроструктури. Вимірювання проводили на приладі ПМТ-3 при збільшенні $\times 487$ у відповідності з ГОСТ9450-76.

Результати досліджень та їх обґрунтування. Оже-електронний спектр (ОЕС), знятий для точок поверхні неопромінених після випробування на зношування на повітрі зразків, містить інтенсивні піки ліній титану і менш інтенсивні піки ліній Si, Fe, що не суперечить хімічному складу цього сплаву. Окрім того, спектр має пік лінії аргону, який привнесено в матеріал під час видалення шару матеріалу іонним травленням. Зафіксовано і піки ліній C, N, O, що свідчить про активне поглинання поверхнею зразків з атмосфери зазначених елементів технічно чистим титаном. Після лазерного опромінення сплаву BT1-00 без оплавлення поверхні ($q = 2 \cdot 10^7 \text{ Вт/м}^2$, $t = 0.1 \text{ с}$) спостерігається суттєве зростання піку лінії N і деяке зменшення величини піків ліній C, O, а також нерівномірна зміна величини піків Fe, Si за глибиною.

Дослідження ОЕС сплав титанових сплавів свідчать про нерівномірний характер величин піків Al, Mo, Si, N, O за глибиною зони лазерного впливу, тобто здійснюється масоперенос атомів елементів углиб основного металу під впливом неперервного лазерного випромінювання.

Характерним є також зменшення інтенсивності ліній водню і навіть зникнення піку ліній водню на деяких опромінених зразках.

Перерозподіл елементів в матеріалах виявлено і в процесі тертя їх в повітрі, коли титановий сплав активно поглинає азот, кисень і водень. При випробуванні титанових сплавів на зношування в морській воді і трансформаторному маслі вміст азоту був на рівні вихідної кількості.

Збільшення інтенсивності зношування неопромінених зразків титанових сплавів у різних середовищах можна пояснити зростанням кількості поглинутого водню. Кількість поглинутого водню зростала зі збільшенням навантаження. Його вміст в продуктах зношування пропорційний інтенсивності зношування в різних середовищах [5]. Рентгенівською фотоелектронною спектроскопією встановлено присутність водню в титані у вигляді фази гідрида титану TiH_2 з енергією зв'язку 468,3 eV (рисунок 1. крива 1).

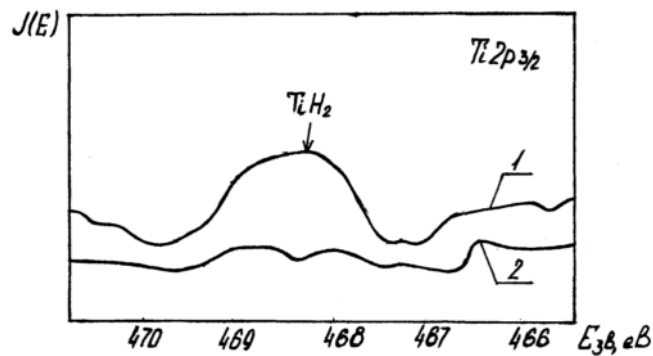


Рис. 1. Ділянка рентгенівського фотоелектронного спектру TiH_2 знятого з поверхні зразків титану BT5: 1 – зразок неопромінений; 2 – зразок опромінений ($q=2 \cdot 10^7 \text{ Вт/м}^2$)

При дослідженні кількості водню в продуктах зношування виявлено що, водень присутній в них у вигляді TiH_2 (0,2...0,4% при випробовуваннях в маслі; 0,4...0,47% - при випробовуваннях у воді).

Металографічними дослідженнями виявлено шар, що безпосередньо примикає до поверхні, яка підлягає значній пластичній деформації і характеризується великим числом ліній ковзання. Безпосередньо до цього шару примикають двійники, що мають викривлення внаслідок інтенсивної пластичної деформації. По площинам двійникування й розташовані гідрити титану TiH_2 .

Випробування на зношування у різних середовищах зразків титанових сплавів, підлеглих лазерній обробці без оплавлення поверхні показали, що рентгенівським фотоелектронним аналізом гідриту титану TiH_2 не виявлено (рисунок 1 крива 2). Це обумовлено тим, що під дією лазерного випромінювання сполучення TiH_2 розпадається: відбувається хімічна реакція $\text{TiH}_2 \rightarrow \text{Ti} + \text{H}_2$ і переміщення атомів водню на поверхню матеріалу. Цим можна пояснити обумовлену підвищену зносостійкість опромінених титанових сплавів, а також відсутність гібридної крихкості матеріалу.

Поглинутий титановими сплавами кисень та азот є його зміцнювачами. Дослідження показали, що зі збільшенням вмісту зазначених елементів зменшується величина зношування. Цьому сприяє утворення окислів та нітридів. Разом з тим дифузія кисню та азоту в глибок матеріалу ускладнює пластичну деформацію поверхневого шару й зменшує схильність металу до схоплювання [6]. Протікання процесу окислення поверхонь тертя неопромінених і опромінених зразків в умовах випробування у різних середовищах підтверджують зняті рентгенівські фотоелектронні спектри (рисунок 2) на яких виявлено окисел TiO_2 з енергією зв'язку 469,4 eV.

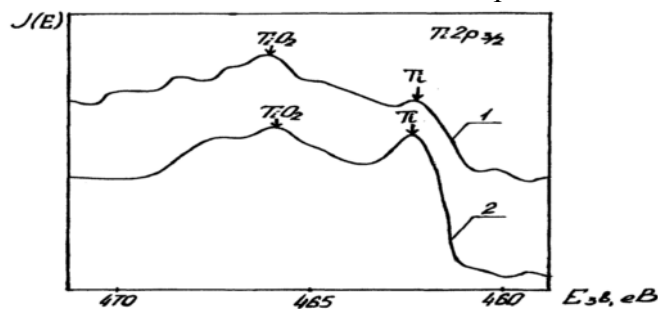


Рис. 2. Ділянка рентгенівського фотоелектронного спектру TiO_2 знятого з поверхні зразків титану BT1-00: 1 – зразок неопромінений; 2 – зразок опромінений ($q=2 \cdot 10^7 \text{ Вт/м}^2$)

При лазерному опроміненню зразків суттєво змінюється як інтенсивність так і характер зношування (таблиця 1).

Таблиця 1. Залежність зношування зразків титанового сплаву ВТ-14 у різних середовищах від тривалості випробувань ($P=2$ МПа; $v=0,2$ м/с)

Середовище випробувань	Вид обробки зразків	Зношування в мг/см^2 при тривалості випробувань, годин				
		1	2	3	4	5
Повітря	Неопромінений	12,8	13,1	13,6	14,4	14,8
	Опромінений $q=2 \cdot 10^7 \text{ Вт/м}^2$	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1
Морська вода	Неопромінений	18,3	19,4	20,6	21,8	22,0
	Опромінений $q=2 \cdot 10^7 \text{ Вт/м}^2$	2,7	2,8	2,9	3,0	3,2
Трансформаторне масло	Неопромінений	24,1	26,0	26,8	28,2	29,1
	Опромінений $q=2 \cdot 10^7 \text{ Вт/м}^2$	2,8	2,8	3,0	3,2	3,3

ДюрOMETричні дослідження опромінених титанових сплавів показали, що величина мікротвердості збільшувалась у 1,5...4,0 рази у порівнянні з вихідною мікротвердістю і становила 5,2...12,4 ГПа в залежності від режиму опромінення і елементного вмісту титанового сплаву.

Висновки. Проведені експериментальні дослідження дають можливість зазначити наступне:

- При випробуванні зразків титанових сплавів на зношування у повітрі, морській воді і трансформаторному маслі поверхня тертя активно поглинає водень, кисень, вуглець та азот. Особливо інтенсивно поглинається водень, що обумовлює гідритну крихкість.
- Експериментально доведено, що при лазерній обробці зразків у режимі без оплавлення поверхні водень не проникає в матеріал, гідрит TiH_2 розпадається, а атоми наявного у матеріалі водню переміщуються до поверхні опромінювання.
- Показано, що лазерна обробка підвищує зносостійкість титанових сплавів у 2,0...2,5 разів. Це свідчить про ефективність використання лазерної обробки для зміцнення титанових сплавів.

Список літератури: 1. Федірко В.М., Погрелюк І.М., Яськів О.І., Довгунік В.М., Мінік С.В. Деякі особливості тертя та зношування титанових сплавів після ХТО // Проблеми трибології (Problems of Tribology), - 2001. - №2. С.172-176. 2. Носова Г.И. Фазовые превращения в сплавах титана. М.: Металлургия, 1968. -180с. 3. Глазунов С. Г., Моисеев В. Н. Конструкционные титановые сплавы. М.: Металлургия, 1974. —366с. 4. Нефедов В.И., Черепанин В.Г. Физические методы исследования поверхности твердого тела. М.: Наука.-1983.-296с. 5. Поляков А.А., Гаркулов Д.Н. Водород как ускоритель износа. /В зб. “Физико-химическая механика контактного взаимодействия и фреттинг-коррозия”. - К.: КИИГА, 1973. - С.11 - 15. 6. Аномалия структурных превращений и массопереноса при лазерном воздействии /В.В. Аулин, Н.М. Боранбаев, С.Д. Звонков/ Сб. трудов 2 Дальневосточной школы-семинара.-Благовещенск.1988.-т.2.-с.66-68.

ОТРИМАННЯ ДЕЯКИХ АДГЕЗІЙНО-МІЦНИХ СПОЛУК ЗА ДОПОМОГОЮ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Аулін В.В. Кічура Р.П. (каф. ЕРМ, КДТУ. м.Кіровоград. Україна)

Постановка проблеми. Вуглецеві матеріали (графіти, алмази, скловуглець), завдяки своїм унікальним властивостям, знайшли широке застосування.

При цьому, як правило, вуглецеві матеріали (ВМ) застосовуються у сполученні з іншими матеріалами. Створення адгезійно-міцних покриттів і плівок на ВМ лежить в основі таких технологічних процесів, як створення захисних покриттів, пайка й зварювання, отримання контактів. Але, вуглецеві матеріали характеризуються слабкою фізико-хімічною взаємодією з більшістю матеріалів [1]. Мала енергія взаємодії ВМ з рядом речовин й слабе розчинення в них вуглецю обумовлюють низьку величину адгезії. В той час такі матеріали як корунд, оксид цирконію та інші тугоплавкі метали, взаємодіють з графітом при достатньо високих температурах й тривалому часу витримки. Отже, отримання міцних сполучень ВМ з такими перспективними матеріалами, як корунд і фіаніт, технічно складна і в той час практично важлива задача.

З іншого боку, щоб зрозуміти механізм взаємодії графіту з алюмінієм та його оксидами, цирконієм і його оксидами та ітрієм, необхідні дослідження взаємодії графіту з цими матеріалами при високих температурах, що має як наукове, так і практичне значення.

На сьогодні в ряді технологій широке застосування знайшли лазерні технології паяння і зварювання різнорідних поверхонь, до переваг яких можна віднести досягнення високих температур при локальному розігріванні контактуючих поверхонь [2-6].

Без сумніву позитивна якість лазерних технологій полягає передусім в тому, що ряд матеріалів є прозорими для випромінювань певної довжини хвилі, що дозволяє піддавати інтенсивному впливу тільки контактуючі поверхні матеріалів.

Мета та задачі дослідження. В даній роботі запропоновано метод отримання контактів різнорідних матеріалів з графітом. За допомогою розробленого методу досліджуються взаємодія оксидів алюмінію (корунд) і цирконію з ітрієм (фіаніту) з графітом.

Методика досліджень. Покриття, призначене для лазерного випромінювання, приводилося в контакт з поверхнею графіту і випромінювання відбувалось крізь покриття лазерним імпульсом. При цьому методом інтенсивно прогрівалась тільки поверхня графіту, що й обумовлювало взаємодію покриття з підкладкою.

В якості об'єктів дослідження були вибрані такі матеріали: оксид алюмінію у вигляді прозорих пластин корунду та оксид цирконію з ітрієм у вигляді пластин фіаніту, також прозорих для даної області електромагнітного випромінювання. Пластини корунда і фіаніту розміром 4×4×2 мм після шліфування і полірування, приводили в контакт з графітом марки ГМЗ-ОСЧ. Контакт здійснювався механічним зажимом. Обробку контактуючих матеріалів проводили на імпульсних лазерних установках, що випромінюють на довжині хвилі 0,69 мкм і 1,06 мкм.

Система “корунд-графіт” оброблялась одиночними лазерними імпульсами густиною потужності меншою від $5 \cdot 10^8 \text{ Вт/м}^2$ і довжиною хвилі 0,69 мкм.

Систему “фіаніт-графіт” опромінювали густиною потужності $5 \cdot 10^9 \text{ Вт/м}^2$ на довжині хвилі 1.06 мкм з частотою прямування імпульсів –50-100 Гц.

Характер взаємодії покриття з підкладкою досліджували на скануючому електронному мікроскопі фірми JEOL з рентгенівським мікроаналізатором, а також по величині навантаження на відрив на розривній машині ZM-100.

Після лазерного опромінювання через прозорі покриття робили шліфи поперек системи “покриття-підкладка”, які досліджували в електронному мікроскопі за допомогою мікросондового аналізатора.

Результати досліджень та їх обґрунтування. Як було встановлено, ступінь стиснення покриття з підкладкою істотно не впливала на характер міжфазової взаємодії. Поверхня графіту, як виянилось на основі спеціальних досліджень, не потребує спеціальної обробки і зводиться тільки до знежирення ацетоном. Експериментальні дослідження показали, що густина потужності вища за $5 \cdot 10^8 \text{ Вт/м}^2$ приводить до часткової руйнації корунду і одиночного лазерного імпульсу з цією густиною потужності достатньо для взаємодії алюмінію з графітом. В процесі взаємодії лазерного імпульсу поверхня графіту розігрівається до температур, достатніх для утворення адгезійно-міцних з’єднань його з корундом й утворення перехідного шару. Утворений перехідний шар досліджували по шліфу на електронному мікроскопі сумісно з дослідженням розподілу елементів вздовж заданої прямої на мікрорентгеноспектрометрі JSM-35. Контролювали розподіл алюмінію в перехідній зоні системи “корунд-графіт”. Ширина перехідного шару складала 2...5 мкм.

Утворений перехідний шар після опромінення одиночним лазерним імпульсом забезпечував міцність, що відповідає нормальному навантаженню на розрив $150...200 \text{ Н/см}^2$. Це говорить про гарну адгезійну здатність (Рис. 1).

Для системи “фіаніт-графіт” одиночного лазерного імпульсу для забезпечення адгезійно-міцного контакту було недостатньо. Тому опромінення проводили імпульсним квантовим генератором з частотою слідування імпульсів 500...100 Гц й енергією в імпульсі 0.05 Дж. Час опромінення складав 60...300 с.

Досліджували розподіл цирконію вздовж прямої перпендикулярної границі розподілу. Ширина перехідного шару дорівнювала 0.5 мкм. Адгезійна міцність з’єднання фіаніту і графіту, оцінена й по величині нормальної складової навантаження на розрив. Вона складала $100...150 \text{ Н/см}^2$.

Виявлено, що міцність на розрив залежить від частоти слідування імпульсів при постійному часі опромінення. Оптимальною є частота 50 Гц при тривалості опромінення $t=60 \text{ с}$.

Більш низьке значення адгезійної міцності системи “фіаніт-графіт”, можна, пояснити тим, що для взаємодії оксиду цирконію з графітом необхідні більш високі температури, а також тим, що коефіцієнт термічного розширення фіаніту суттєво відрізняється від графіту.

Висновки. Проведені в роботі дослідження показали, що лазерне випромінювання, прозоре для даних речовин, обумовлює утворення адгезійно - міцного контакту. Це реалізовано для систем “корунд-графіт” та “фіаніт-графіт”. Отримані результати дають можливість змодельовати механізм взаємодії різнорідних систем й одержати їх адгезійно-міцні з’єднання за допомогою лазерних технологій.



Рис. 1. Перехідна зона системи “корунд-графіт”, отримана під час лазерного опромінення контакту матеріалів густиною потужності $3 \cdot 10^8 \text{ Вт/м}^2$, $\lambda = 0.69 \text{ мкм}$

Список літератури: 1. Найдич Ю.В., Колесниченко Г.А. Взаимодействие металлических расплавов с поверхностью алмаза и графита. -Киев: Наукова Думка, 1967.-88с. 2. Реди Дж. Промышленное применение лазеров. -М.: Мир,1982.-572с. 3. Реди Дж. Действие мощного лазерного излучения. - М.: Мир, 1974.-250с. 4.Бузыкин О.Г., Бурмистров А.В. О механизме колебаний нагрева при лазерном облучении титана.//Поверхность.-1982.-12.-С.63-69. 5. Рыкалин Н.И., Углов А.А. Лазерно-плазменная обработка металлов при высоких давлениях газа. //Квантовая электроника.-1981.-т.8.-№ 6.-С.1193-1201. 6. Воздействие лазерного излучения на материалы / Р.В. Арутюнян, В.Ю. Баранов и др. - М.: Наука. - 1989. - 367 с.

ВЫБОР НАИБОЛЕЕ ЭФФЕКТИВНОГО СПОСОБА ПОДАЧИ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИХ ЖИДКОСТЕЙ В ЗОНУ РЕЗАНИЯ ПРИ ЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКЕ

Бобырь Н.А., Самофалова М.А., Ивченко Т.Г.
(каф. ТМ, ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

В настоящее время при обработке лезвийным инструментом наиболее распространены следующие способы подачи смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ): полив свободно падающей струей жидкости; струйно-напорная подача СОЖ; подача СОЖ в распыленном состоянии [1]. Применение СОЖ – наиболее эффективный путь снижения температуры и повышения стойкости режущего инструмента. Для охлаждения инструмента преимущественно используются СОЖ на основе водных растворов, имеющих теплофизические свойства, близкие к свойствам воды.

В представленной работе в качестве основного критерия выбора способа подачи СОЖ в зону резания рекомендуется коэффициент теплоотдачи α , характеризующий основные закономерности конвективного теплообмена и интенсивность отвода тепла от лезвия инструмента, стружки и детали. Для расчета коэффициента теплоотдачи при вынужденной конвекции среды, возникающей в случае принудительного движения охлаждающей жидкости в зоне резания, используется критериальное уравнение [2]:

$$Nu_o = C \varepsilon Re_o^m Pr_o^n Gr_o^p (Pr_o/Pr_s)^{0,25}, \quad (1)$$

где C, m, p, x, y, z – коэффициент и показатели степеней, зависящие от способа подачи жидкости в зону обработки; поправка ε учитывает изменение теплоотдачи при наклоне струи под углом φ :

$$\varepsilon = \exp\left[-4 \cdot 10^6 (90^\circ - \varphi)^3\right]. \quad (2)$$

В состав уравнения (1) входят четыре безразмерных комплекса:

$$Nu_o = \alpha l / \lambda; Re_o = wl / \nu; Pr_o = \nu / \omega; Gr_o = \beta (\Theta_s - \Theta_o) gl^3 / \nu^2, \quad (3)$$

где Nu_o – критерий Нуссельта; Re_o – критерий Рейнольдса; Pr_o – критерий Прандтля; Gr_o – критерий Грасгофа; α – коэффициент теплоотдачи; l – характерный размер; w – скорость потока; ν – кинематический коэффициент вязкости среды; ω – коэффициент температуропроводности; β – коэффициент объемного расширения; g – ускорение свободного падения, Θ_s и Θ_o – температуры поверхности инструмента и охлаждающей среды.

При подаче водных растворов поливом свободно падающей струей жидкости, являющимся самым простым и наиболее распространенным способом, при котором струя направляется как на стружку, так и на инструмент, для определения коэффициента теплоотдачи используется критериальное уравнение в виде:

$$Nu_o = 0.28 \varepsilon Re_o^{0,6} Pr_o^{0,36} (Pr_o/Pr_s)^{0,25} \quad (4)$$

Из этого уравнения определяется коэффициент теплоотдачи:

$$\alpha_{полив} = 1,9 \cdot 10^3 \varepsilon w^{0,6} / l^{0,4}. \quad (5)$$

Характерный размер l при условии поперечного обтекания тела жидкостью определяется как эквивалентный диаметр:

$$l = d_{экв} = 4F/P = BH/2(B+H), \quad (6)$$

где F – площадь поперечного сечения тела, P – полный смоченный периметр этого сечения, B, H – размеры инструмента.

В связи с тем, что при резании на поверхностях лезвия инструмента в процессе механообработки возникают значительно более высокие температуры, чем 100°C , необходимо учитывать особенности теплообмена при изменении агрегатного состояния жидкости – кипении. В диапазоне температур до 120°C наблюдается пузырьковый режим кипения с максимально возможным образованием и отрывом пузырьков пара от нагретой поверхности, обеспечивающий наибольший эффект от применения СОЖ, с коэффициентом теплоотдачи:

$$\alpha_{к\text{пуз}} \approx 170(\Theta_s - 100)^{1,86}. \quad (7)$$

При более высокой температуре пузырьковый режим кипения переходит в пленочный. Пленка пара увеличивает термическое сопротивление, коэффициент теплоотдачи снижается:

$$\alpha_{к пл} = 3,33 \cdot 10^6 (\theta_s - 100)^{-1,43}. \quad (8)$$

При температуре свыше 235°C коэффициент теплоотдачи практически не изменяется: $\alpha_k \approx 3 \cdot 10^3$.

Движение жидкости по отношению к нагретому инструменту вносит изменения в процесс кипения. Движущаяся жидкость срывает паровые пузырьки с поверхности тела и ослабляет процесс пузырькового кипения, а также разрушает паровую пленку. Приведенный коэффициент теплоотдачи α_{np} , учитывающий совместное влияние кипения и конвективного теплообмена, определяется следующим образом: при $\alpha_k \geq 2\alpha$ $\alpha_{np} \approx \alpha_k$; при $0,5\alpha \leq \alpha_k \leq 2\alpha$:

$$\alpha_{np} = \alpha [(4\alpha + \alpha_k) / (5\alpha - \alpha_k)], \quad (9)$$

где α_k и α - соответственно независимо рассчитанные коэффициенты теплоотдачи при кипении и при конвективном теплообмене.

При высоких скоростях для всех температур $\alpha_k \leq 0,5\alpha$, в связи с чем, коэффициент теплоотдачи практически не зависит от температуры: $\alpha_{np} \approx \alpha$.

При струйно-напорной подаче водных растворов, сущность которого заключается в подаче СОЖ тонкой струей с давлением до 2 Мпа в зону контакта инструмента с

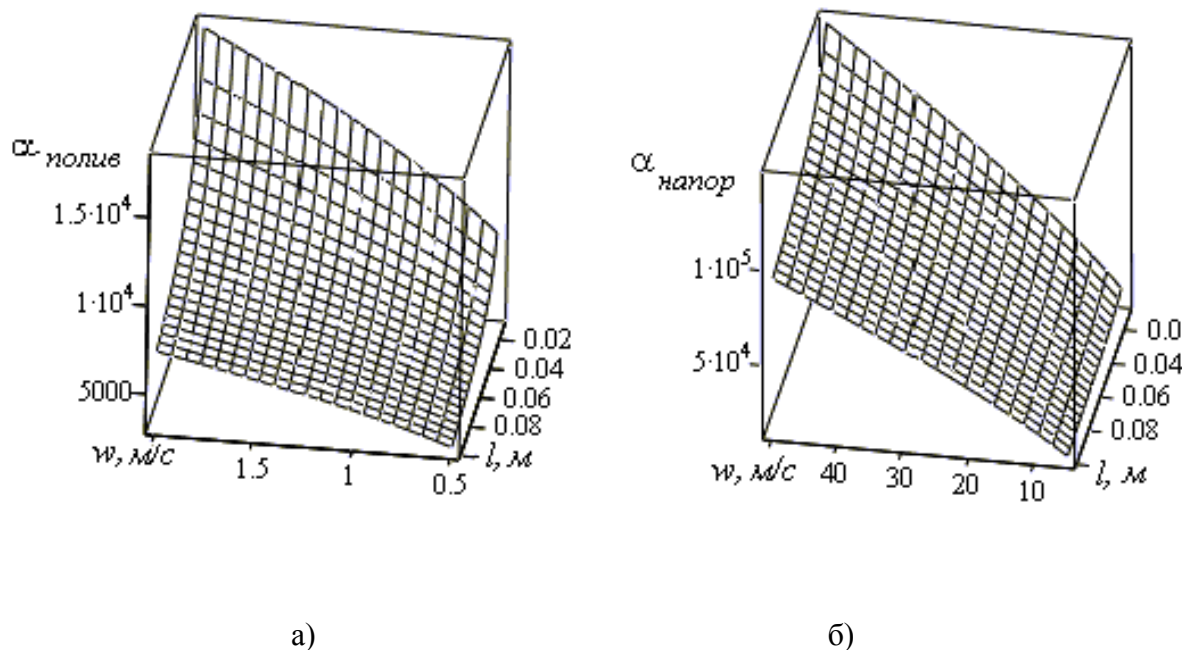


Рис.1. Графики зависимости коэффициента теплоотдачи α от скорости охлаждающей среды w и длины омываемой поверхности l при свободном поливе - а) и струйно-напорной подаче СОЖ - б)

обрабатываемой деталью со стороны задней поверхности, для определения коэффициента теплоотдачи используется критериальное уравнение в виде:

$$Nu_o = 0.021 Re_o^{0.8} Pr_o^{0.43} (Pr_o/Pr_s)^{0.25} \quad (10)$$

В этом случае коэффициент теплоотдачи:

$$\alpha_{напор} = 2,6 \cdot 10^3 w^{0.8} / l^{0.2} . \quad (11)$$

Характерный размер l при условии продольного обтекания тела жидкостью принимается как размер по направлению ее течения $l = H$.

На рис.1 для сравнения представлены графики зависимости коэффициента теплоотдачи α от скорости охлаждающей среды w и длины омываемой поверхности l при свободном поливе и струйно-напорной подаче СОЖ.

Наиболее эффективным с точки зрения использования СОЖ является распыление небольшого количества жидкости сжатым воздухом при давлении 0,2 Мпа со скоростью до 300м/с. Подача распыленной жидкости в зависимости от типа инструмента может осуществляться как со стороны задней, так и со стороны передней поверхности. При подаче СОЖ в зону резания в распыленном состоянии имеет место сложный теплообмен поверхности лезвия инструмента с двухфазной воздушно-жидкостной средой.

Во-первых, происходит конвективный теплообмен с распыленной жидкостью, капли которой при соприкосновении с поверхностью тела нагреваются до температуры насыщения, а затем испаряются. Коэффициент теплоотдачи $\alpha_{нагр}$ при нагреве капли до температуры насыщения Θ_H определяется, исходя из критериального уравнения для условий естественной конвекции:

$$Nu = 0,135(Gr \cdot Pr)^{0.33} . \quad (12)$$

$$\alpha_{нагр} = 447,6(\Theta_H - \Theta_o)^{0.33} / l^{0.01} \quad (13)$$

Средний по времени коэффициент теплоотдачи жидкости в распыленном состоянии в процессе нагревания и испарения капли равен:

$$\alpha_{расп} = \frac{\alpha_{нагр} \alpha_{кип} [c(\Theta_S - \Theta_H) + r]}{r \alpha_{нагр} + c \alpha_{кип} (\Theta_S - \Theta_H)} \quad (14)$$

где $\alpha_{нагр}$ - коэффициент теплоотдачи при конвективном теплообмене; $\alpha_{кип}$ - коэффициент теплоотдачи при кипении (8); c - массовая теплоемкость жидкости; r - теплота парообразования; Θ_H - температура насыщения жидкости.

Во-вторых, происходит вынужденный конвективный теплообмен с воздухом, содержащимся в двухфазной струе. Коэффициент теплоотдачи инструмента в воздух $\alpha_{возд}$ определяется, исходя из критериальных уравнений (4) и (10) для условий вынужденной конвекции, соответственно для подачи распыленной жидкости со стороны передней и задней поверхностей:

$$\alpha_{возд\text{ фр}} = 5.0 w^{0.6} / l^{0.4} ; \quad \alpha_{возд\text{ зад}} = 3.4 w^{0.8} / l^{0.2} . \quad (15)$$

Приведенный коэффициент теплоотдачи, учитывающий все процессы, происходящие на поверхности контакта струи жидкости с нагретой поверхностью равен:

$$\alpha_{np\ расн} = 1,2K^{2/3}m^2(\alpha_{расн} - \alpha_{возд}) + \alpha_{возд}, \quad (13)$$

где K – концентрация жидкости в двухфазной воздушно-жидкостной среде; m – коэффициент, характеризующий деформацию капель жидкости при соударении с поверхностью; $\alpha_{возд}$ – коэффициент теплоотдачи в воздух.

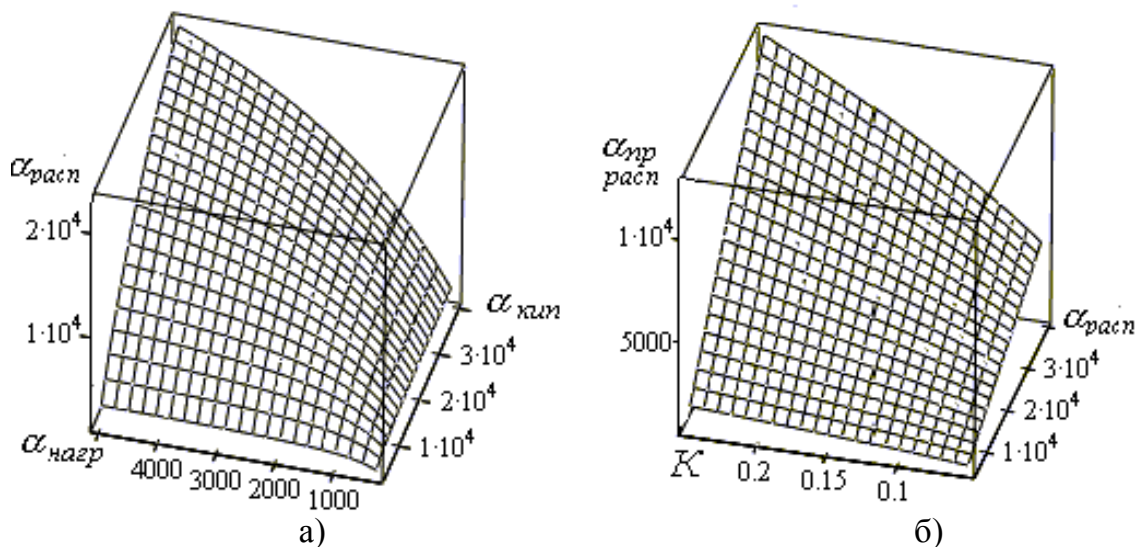


Рис. 2. Графики зависимостей коэффициентов теплоотдачи от условий теплообмена: а) $\alpha_{расн}$ от коэффициентов теплоотдачи при нагреве $\alpha_{нагр}$ и кипении $\alpha_{кип}$; б) $\alpha_{np\ расн}$ от концентрации жидкости K и коэффициента теплоотдачи в воздух $\alpha_{возд}$

Влияние условий теплообмена на приведенный коэффициент теплоотдачи $\alpha_{np\ расн}$ и коэффициент теплоотдачи распыленной жидкости $\alpha_{np\ расн}$ представлено на рис.2.

Таким образом, в результате проведенных исследований установлены закономерности изменения и количественные значения коэффициентов теплоотдачи при поливе свободно падающей струей жидкости, струйно-напорной подаче СОЖ, а также при подаче СОЖ в распыленном состоянии, позволяющие для заданных параметров обработки выбрать способ подачи с наибольшим значением коэффициента теплоотдачи α .

Список литературы: 1. Справочник по обработке металлов резанием / Ф.Н. Абрамов, В.В. Коваленко, В.Е. Любимов и др. – К.: Техника, 1983. – 239с. 2. Резников А.Н., Резников Л.А. Тепловые процессы в технологических системах. - М.: Машиностроение, 1990. - 288с.