

## МАШИНОЗНАВСТВО. ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ У МАШИНОБУДУВАННІ

УДК 622

В.С. Гаврилова, інж.  
І.Ю. Ростоцький, м.н.с.  
С.Є. Шейкін, д.т.н., с.н.с.  
А.Ю. Шило, д.т.н., проф.

*Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України*

### ДО ПИТАННЯ РОЗРОБКИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЗМАЩЕНЬ ДЛЯ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ З ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ ДЕФОРМУЮЧИМ ПРОТЯГУВАННЯМ

*Стаття присвячена розробці технологічного змащення для обробки деталей з титанових сплавів деформуючим протягуванням. На основі результатів експериментів встановлені його антифрикційні та екрануючі властивості.*

**Вступ.** Титан і його сплави є одним з найбільш перспективних конструкційних матеріалів для виготовлення деталей хімічної промисловості, суднобудування, авіаційної, космічної, криогенної й медичної техніки. У ряді випадків до деталей з титану або їхніх робочих поверхонь висуваються підвищені вимоги щодо втомної міцності й зносостійкості (наприклад, гідроциліндри й штоки в авіаційній і космічній техніці).

Відомо, що використання методів холодного пластичного деформування (ХПД) у процесах обробки деталей дозволяє вирішити багато технологічних задач. А саме, істотно підвищити продуктивність праці, коефіцієнт використання металу, знизити енерговитрати, зменшити забруднення навколишнього середовища, підвищити експлуатаційні характеристики оброблених деталей тощо.

Однак застосування методів ХПД для обробки титанових сплавів в той час пов'язано зі значними труднощами, з їхньою підвищеною схильністю до схоплювання з інструментальними матеріалами.

Маючи високу поверхневу активність, титан дуже інтенсивно утворює оксидні плівки (хемсорбція кисню) і адсорбує гази з навколишнього середовища (активована фізична адсорбція газів). Захищена газами активна поверхня титану втрачає здатність адсорбувати змащення, які звичайно застосовуються в промисловості. До теперішнього часу ефективні рідкі мастила, що дозволяють уникнути схоплювання в процесах ХПД, де переважає тертя ковзання при взаємодії інструмента з оброблюваним титановим сплавом, не створені [1].

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Дослідження, проведені раніше в ІНМ НАН України, показали, що у випадку обробки методами ХПД матеріалів, які мають підвищену схильність до схоплювання з інструментальним матеріалом (наприклад, до нержавіючих і високолегованих сталей), можуть бути успішно застосовані тверді змащення [2-4]. Для обробки таких матеріалів в ІНМ НАН України розроблений ряд твердих змащень на основі дисульфиду молібдену й графіту, проведені дослідження з виявлення граничних умов їхнього застосування. При цьому в якості зв'язуючого використовували різні типи епоксидних смол або клеїв (наприклад, БФ 2, 88 та ін.) [5]. Однак при обробці титанових сплавів дані змащення показали низькі екрануючі властивості. Аналогічний результат отриманий в [6]. Уникнути схоплювання при деформуючому протягуванні деталей з титанових сплавів дозволяє застосування як твердого змащення йодистого кадмію. Однак його застосування в процесах ХПД перешкоджає токсичність.

Внаслідок цього, незважаючи на гарну пластичність, титанові сплави відносять до розряду матеріалів, що важко оброблюються методами ХПД [7]. Тому їхня обробка здійснюється переважно різанням, а зміцнення – нанесенням різного виду покриттів. Метою даного дослідження була розробка твердого технологічного змащення, що має високі антифрикційні й протизадирні властивості в парі титановий сплав – деформуючий інструмент зі сплаву групи ВК у процесах ХПД.

Найбільш надійно було б проводити випробування зразків технологічних змащень в умовах того процесу обробки, для якого вони призначаються. Однак це пов'язано із цілим рядом труднощів, що змушує хоча б для попередніх випробувань використовувати спрощені лабораторні методи.

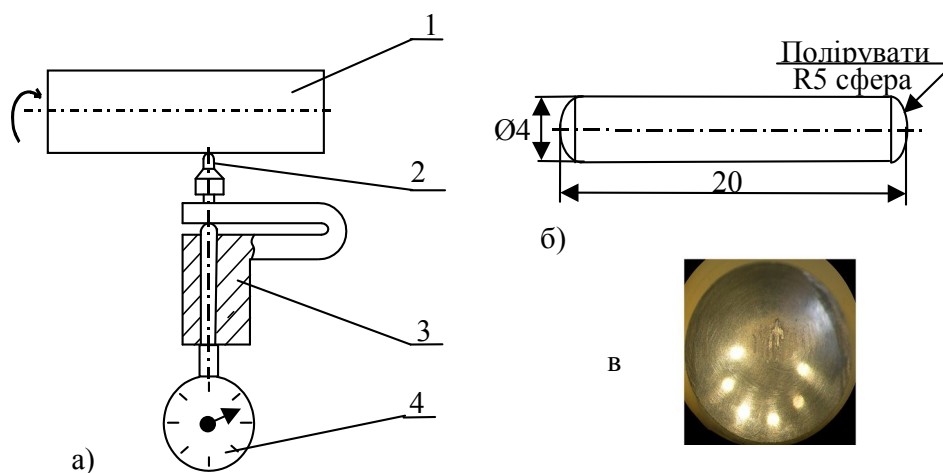


Рис. 1. Пристрій для попереднього дослідження екрануючих властивостей технологічних змащень: а) схема пристрою; б) деформуючий інструмент; в) торець стержня з налипом оброблюваного матеріалу

**Викладення основного матеріалу.** Для дослідження експлуатаційних характеристик технологічних змащень у процесах ХПД розроблена значна кількість методик [8–11]. У наших дослідженнях для попереднього вивчення екрануючих властивостей технологічних змащень застосована методика, в якій реалізується схема вигладжування зовнішньої поверхні циліндричної заготовки, на яку нанесено змащення, що випробовується [11] (рис. 1). Заготовку (1) з нанесеним на неї випробовуваним змащенням встановлювали в патрон токарного верстата. Деформуючий інструмент у вигляді стержня із твердого сплаву ВК15 (2) зі сферичними торцями (рис. 1, б) встановлювали в пружну державку (3) з індикатором (4) і притискали до заготовки силою  $P_y$ . Інструмент переміщали уздовж утворюючої заготовки, яка обертається. При цьому силу  $P_y$  ступінчато збільшували і обробку здійснювали по тій самій ділянці в одному напрямку. Пристрій попередньо тарували. У процесі обробки шорсткість обробленої поверхні зменшується, при збільшенні сили  $P_y$  підвищується контактний тиск. Про настання схоплювання свідчило порушення цілності покриття і збільшення шорсткості обробленої поверхні. При цьому на робочому торці стержня відбувається налипання оброблюваного металу (рис. 1, в). Екрануючі властивості змащення можуть оцінюватися за величиною контактного тиску, що передує схоплюванню, або за величиною шляху, пройденого зразком до схоплювання.

Перевагою даної методики є можливість швидкого одержання результатів, а також можливість багаторазового використання заготовки. З огляду на те, що ціна титанових сплавів безупинно підвищується, останній факт є досить значним. Недоліком – неможливість точного визначення контактної сили в процесі випробувань. Дана методика дозволяє лише якісно судити про працездатність випробовуваних змащень і робити їхнє ранжирування за екрануючими властивостями.

Для більш точної оцінки експлуатаційних характеристик технологічних змащень використовувалась методика, що відповідає реальному процесу деформуючого протягування. Через отвір втулки з нанесеним на його поверхню змащенням пропускають ряд деформуючих елементів (рис. 2) [8].

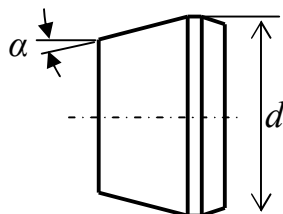


Рис. 2. Деформуючий елемент

Розмір кожного наступного елемента більший попереднього на деяку величину. Зі збільшенням кількості проходів контактний тиск підвищується, а при використанні рідких мастил знижується шорсткість обробленої поверхні. У процесі випробувань роблять виміри осьової сили. Про схоплювання свідчило різке її збільшення, налипання оброблюваного матеріалу на інструмент і порушення цілності поверхні покриття. Контактний тиск у момент, що передує схоплюванню, а також кількість пропущених до схоплювання деформуючих елементів можуть характеризувати експлуатаційні характеристики технологічного змащення. До переваг даної методики варто віднести її високу точність й інформативність. До недоліків – те, що втулку, на якій проводилися дослідження, як правило, використати в подальшій роботі неможливо. Для реалізації даної методики використовували спеціальний стенд, що дозволяє здійснювати

деформуюче прошивання із силою до 100 кН. Вимір осьової сили прошивання здійснювався тензометричним динамометром, підключеним через підсилювач до персонального комп'ютера.

Попередні експерименти показали, що з титанових сплавів найбільш високу схильність до схоплювання з інструментами твердих сплавів групи ВК має сплав ВТ1-0, внаслідок чого він був обраний для експериментів.

Оскільки при використанні твердих змащень безпосередній контакт інструменту з оброблюваною поверхнею відсутній [5], шорсткість у процесі експерименту не контролювалася.

Для досягнення необхідного рівня екрануючих властивостей композита, що працює як технологічне змащення в умовах високих нормальних і дотичних навантажень, у його сполуку повинні входити компоненти, що мають високу адгезію до титану, міцність та антифрикційні властивості в контакті з інструментом із твердого сплаву.

З метою створення твердого змащення, що відповідає зазначеним вимогам, були досліджені поліуретанові та епоксидні високомолекулярні полімерні матеріали.

Поліуретани (ПУ), як відомо [13], відрізняються більшою еластичністю, але меншою адгезією до металів, ніж епоксидні смоли. Було досліджено чотири поліуретанові композиції, що мають високу адгезію до металевих поверхонь: двокомпонентні і однокомпонентні. Для однокомпонентних та двокомпонентних діізоціанатних матеріалів остаточну полімеризацію здійснювали при кімнатній температурі. Механічні властивості ПУ еластомерів залежать від умов їхньої підготовки, природи зшиваючого агента і ступеня зшивки. До складу поліуретанових композитів вводили антифрикційні наповнювачі в кількості 5–20 % – діоксид титану, дисульфід молібдену, графіт, гексагональний нітрид бору [12]. Для одержання міцної оксидної плівки на поверхні титанових заготовок, що збільшує адгезію до неї ПУ, заготовки піддавали обробці при температурі 200–250 °С у повітряному середовищі та при 500–700 °С у вакуумі  $10^3$  Па.

При дослідженні властивостей технологічних змащень на основі епоксидних високомолекулярних полімерних матеріалів використовували композиції на основі епоксидно-діанових смол марок ЕД-16, ЕД-20 та їхніх похідних. Вибір смоли здійснювали за показниками міцності і в'язкості. Як антифрикційні наповнювачі використовували ті ж речовини, що й у поліуретанових композитах. При виборі отверджуючих реагентів для епоксидних смол враховували їхні фізико-хімічні й технологічні властивості, токсичність, вплив на процеси ствердіння, реологічні характеристики, а також комплекс властивостей отверджуючих сітчастих композитів. Як отверджувачі були досліджені поліетиленполіамін, поліамідні смоли, похідні фенолу, похідні фталевого ангідриду [14].

Вибір оптимальних температурно-часових параметрів отвердження здійснювали експериментально.

Для одержання міцної оксидної плівки на поверхні титанової заготовки проводилась температурна обробка, описана вище.

Нанесення покриття на попередньо знежирену ацетоном циліндричну поверхню заготовки здійснювали пензлем або валиком.

В ході випробувань зразків технологічних змащень на основі поліуретану з різним якісним і кількісним вмістом наповнювачів у відповідності з першою з описаних вище методик у всіх випадках мало місце схоплювання оброблюваного й інструментального матеріалів і відшарування покриття від поверхні заготовки при навантаженні 50 Н - 100 Н, що недостатньо для процесу деформуючого протягування.

При випробуваннях технологічних змащень на основі епоксидних високомолекулярних полімерних матеріалів найкраще проявили себе похідні епоксидіанової смоли ЕД-20 з отверджуючим реагентом амінного типу та з графітом в якості наповнювача в кількості 5 – 20%. У цьому випадку схоплювання інструмента з обробленим матеріалом і відшарування покриття від поверхні заготовки не спостерігалось при навантаженні  $P_y = 200$  Н. Адгезійна міцність розробленого епоксидного композита при цьому становить: на розрив  $\sigma_{ор} = 53,5$  МПа, на зсув  $\tau_n = 40,1$  МПа.

В подальшому зразки технологічних змащень досліджували за іншою, більш точною методикою.

Для досліджень використовували втулки зі сплаву ВТ1-0 (НВ 160) з отвором  $d_0 = 19$  мм зі стінкою товщиною  $t_0 = 10$  мм. Для порівняння паралельно обробляли деталі зі сталі 20 (НВ 160) тих же розмірів. При обробці деталей зі сталі 20 використовували тверде змащення на основі дисульфиду молібдену [5]. У всіх випадках натяг становив 0,1 мм.

При використанні розробленого змащення сила протягування у всіх випадках була меншою, ніж при використанні змащення на основі  $MoS_2$  при протягуванні деталей зі сталі 20. Розходження в значеннях осьових сил при протягуванні ідентичних деталей з матеріалів однакової твердості пояснюється різною силою тертя між інструментом і оброблюваною деталлю при використанні двох твердих змащень. Характеристикою антифрикційних властивостей технологічного змащення може служити питома сила тертя (сила тертя віднесена до площі контакту інструменту з обробленим виробом). Для визначення питомої сили тертя досліджуваного змащення використовували методику, розроблену в ІНМ НАН України. В основі даної методики лежить положення, установлене в [5], яке полягає в тому, що величина радіальної сили при деформуючому протягуванні не залежить від умов, що впливають на тертя на контактній поверхні, тобто змащення, і виду інструментального матеріалу.

У цьому випадку з умови рівноваги сил, прикладених до деформуючого елемента:

де  $F_1$ ,  $Q_1$ ,  $P_1$  – сила тертя, осьова сила протягання й радіальна сила відповідно при обробці зі змащенням

$$F_1 = Q_1 \cdot \cos \alpha - P_1 \cdot \sin \alpha \quad (1)$$

$$F_2 = Q_2 \cdot \cos \alpha - P_2 \cdot \sin \alpha, \quad (2)$$

на основі дисульфиду молібдену з відомою питомою силою тертя ( $F_1 = 6,41$  МПа [2]);  $F_2$ ,  $Q_2$  й  $P_2$  – сила тертя, осьова сила протягування й радіальна сила при обробці з випробовуваним змащенням.

З умови рівності радіальних сил  $P_1 = P_2$  з урахуванням (1, 2):

$$F_2 = F_1 + (Q_2 - Q_1) \cdot \cos \alpha. \quad (3)$$

На рис. 3, 4 наведено значення питомої сили тертя випробовуваного змащення і контактного тиску відповідно, що мали місце в експериментах. Видно, що в діапазоні значень контактного тиску до 2,2 ГПа значення питомої сили тертя розробленого змащення значно менше, ніж змащення на основі дисульфиду молібдену.

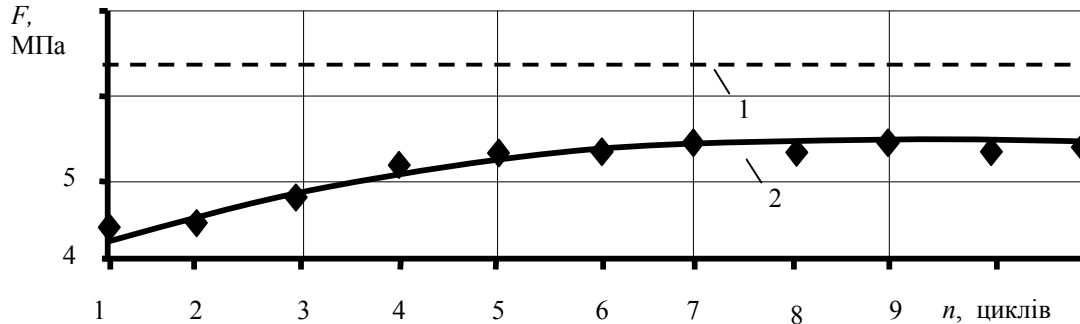


Рис. 3. Залежність питомої сили тертя від кількості циклів деформування:  
1 – питома сила тертя для змащення на основі дисульфиду молібдену ( $MoS_2$ )  
 $F = 6,41$  МПа; 2 – питома сила тертя для розробленого змащення

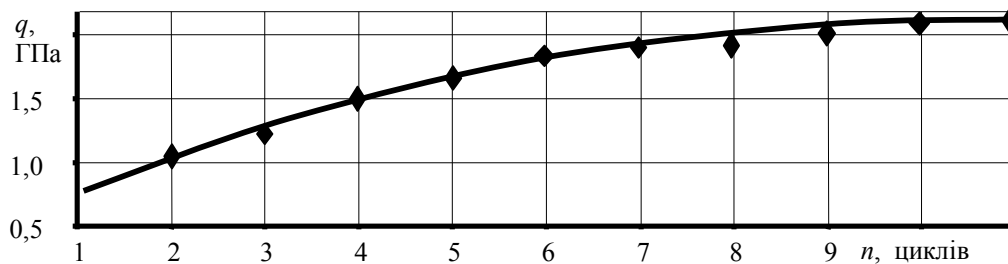


Рис. 4. Залежність контактної сили від кількості циклів деформування

### Висновки

1. Тверде технологічне змащення на основі епоксидних високомолекулярних полімерних матеріалів з графітом в якості наповнювача в кількості 5–20 % при обробці титанових сплавів методами ХПД за екрануючими властивостями перевершує змащення на основі поліуретану.

2. Розроблене технологічне змащення на основі епоксидних високомолекулярних полімерних матеріалів дозволяє здійснювати багатоциклове деформуюче протягування деталей зі сплаву ВТ1-0 при контактних тисках до 2,2 ГПа.

### ЛІТЕРАТУРА:

1. Титановые сплавы в машиностроении / Б.Б. Чечулин, С.С. Ушков, И.Н. Разуваева, В.Н. Гольдфайн. – Л.: Машиностроение, 1977. – 248 с.
2. А. с. 507623 СССР. Смазка для холодной обработки металлов давлением / О.А. Розенберг и др. – Опубл. 25.03.1976, Бюл. № 11.
3. А. с. 323029 СССР. Смазка для холодной обработки металлов давлением / О.А. Розенберг и др. – Опубл. 13.09.1971.
4. А. с. 273357 СССР. Смазка для холодной обработки металлов давлением / О.А. Розенберг и др. – Опубл. 15.06.1970, Бюл. № 20.
5. Крицкий А.Д. Особенности разработки твердосплавных деформирующих протяжек для обработки отверстий в деталях из труднообрабатываемых деталей и сплавов: Автореферат диссертации кандидата технических наук. – К., 1983. – 26 с.
6. Северденко В.П., Жилкин В.З. Основы теории и технологии волочения проволоки из титановых сплавов. – Минск: Наука и техника, 1970. – 204 с.

7. Обработка титановых сплавов давлением / Г.Е. Мажарова, А.З. Комановский, Б.Б. Чечулин, С.Ф. Важенин. – М.: Металлургия, 1977. – 96 с.
8. Новая комплексная методика испытания технологических смазок для обработки металлов давлением / А.М. Розенберг, О.А. Розенберг, М.С. Пасечник и др. // Технологические смазки. – 1971. – Вып. II. – С. 46–52.
9. Вейлер С.Я., Лихтман В.И. Действие смазок при обработке металлов давлением. – М., 1960. – 232 с.
10. Трачук С.В. Основные методы, применяемые для оценки эффективности волоочильных смазок в лабораторных условиях // Технологические смазки. – 1971. – Вып. II. – С. 46–52.
11. А. с. 1070455 СССР. Способ определения экранирующих свойств технологических смазок / О.А. Розенберг, А.М. Розенберг, Л.В. Лобанова. – Опубл. 30.01.1984, Бюл. № 4.
12. Липатов Ю.С. Физическая химия наполненных полимеров. – Москва, 1977. – 304 с.
13. Бабич В.Ф., Липатов Ю.С., Вильчинская А.В. О равновесном модуле высокоэластичных некоторых полиуретановых эластомеров // Синтез и физико-химия полимеров. – К.: Наукова думка, 1987. – С. 138–143.
14. Пахаренко В.А., Яковлева Р.А., Пахаренко В.А. Переработка полимерных композиционных материалов. – К.: Издательская компания «Воля», 2006. – 552 с.

ГАВРИЛОВА Валентина Степанівна – інженер відділу «Фізико-хімії та технології композиційних інструментальних матеріалів» ІНМ НАН України.

Наукові інтереси:

– створення композицій з хімічної взаємодії між речовинами.

РОСТОЦЬКИЙ Ігор Юрійович – молодший науковий співробітник відділу «Перспективних ресурсозберігаючих технологій механообробки інструментами з надтвердих матеріалів» ІНМ НАН України.

Наукові інтереси:

– дослідження процесів холодного пластичного деформування.

ШЕЙКІН Сергій Євгенович – доктор технічних наук, старший науковий співробітник відділу «Перспективних ресурсозберігаючих технологій механообробки інструментами з надтвердих матеріалів» ІНМ НАН України.

Наукові інтереси:

– дослідження процесів холодного пластичного деформування.

ШИЛО Анатолій Юхимович – доктор технічних наук, завідувач відділу «Фізико-хімії та технології композиційних інструментальних матеріалів» ІНМ НАН України.

Наукові інтереси:

– розробка композиційних матеріалів інструментального призначення.

Подано 10.03.2009.