

УДК 621.981:621.922.34

Ю.Е. Рижов, к.т.н., с.н.с.

В.В. Бурикін, к.т.н., с.н.с.

С.Л. Абрамова, пров. інж.

*Інститут надтвердих матеріалів
ім. В.М. Бакуля НАН України, м. Київ*

ОБРОБЛЮВАНІСТЬ ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ ПРИ ФРЕЗЕРУВАННІ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ПНТМ ТА АЛМАЗНОМУ ХОНІНГУВАННІ

Встановлено, що підвищення ефективності процесу чистової обробки титанових сплавів повинно забезпечуватися зниженням енергії активації контактуючих поверхонь інструменту та виробів за рахунок застосування інструменту з інертних, термостійких інструментальних матеріалів та шляхом введення в зону контакту спеціального технологічного середовища, що перешкоджає взаємодії титану з інструментальним матеріалом.

Вступ. Титан та його сплави за оброблюваністю значно відрізняються від конструкційних легованих сталей і займають проміжне положення між нержавіючими сталями та жароміцними сплавами, фрезерування яких супроводжується значними труднощами. Достатньо швидке зношування різальних кромek інструменту при фрезеруванні титану пов'язано з його хімічною активністю, тому що він легко вступає у взаємодію з інструментальними матеріалами, а його низька теплопровідність сприяє підвищенню високої температури в зоні різання.

Враховуючи ці обставини, а також недостатні та суперечливі відомості в літературі з механічної обробки титану, були проведено дослідження з фрезерування титанового сплаву марки VT22 (заготовка довжиною $L = 200$ мм) кінцевою фрезою $\varnothing 20$ мм із різальними пластинами з різноманітних інструментальних матеріалів. Було визначено стійкість інструменту та шорсткість оброблюваної поверхні.

Основна частина. Титановий сплав VT22 — важко оброблюваний матеріал, що містить 35 % β -фази та 16 % легуючих елементів. Мікротвердість – 4400 МПа, твердість – 37 HRC, ударна в'язкість – 3 Дж/м².

Дослідження різанням сплаву VT22 проводилося на фрезерному верстаті моделі 675ПФ.

Для механічної обробки використовувалася концева однозуба фреза з механічним кріпленням різальних елементів, що оснащена твердим сплавом ВК8, полікристалічними надтвердими матеріалами (ПСТМ) на основі алмазу (АТП, БПА) та кубічного нітриду бору (СВН).

Нижче наведено результати досліджень працездатності фрез з метою вибору найбільш зносостійкого інструментального матеріалу, що дозволяє продуктивно фрезерувати титановий сплав ВТ22.

Режими різання при попутному чистовому фрезеруванні сплаву ВТ22 концевою фрезою діаметром D_{ϕ} 20 мм складають: $t = 0,3$ мм, $n = 630\text{--}1000$, $S = 0,03\text{--}0,05$ мм/зуб об./хв. Вказаним режимам відповідає шорсткість обробленої поверхні $Ra = 0,2\text{--}0,4$ мкм. За критерії зносу при фрезеруванні титану для концевих фрез приймають знос по задній поверхні, що не перевищує $h_z = 0,4\text{--}0,5$ мм та забезпечує комплекс вимог до якості оброблюваної поверхні.

На рисунку 1 (крива 6) показано, що при чистовому фрезеруванні титанового сплаву ВТ22 без МОР найкращий результат показала фреза, що оснащена пластинкою СВН, яка мала найбільшу стійкість.

Меншу зносостійкість в аналогічних умовах мала фреза, що оснащена вольфрамокобальтовим твердим сплавом марки ВК8 (крива 5). Інструмент із твердого сплаву ВК8 доцільно використовувати при фрезеруванні сплаву ВТ22 зі швидкістю різання 20–40 м/хв. Цьому відповідає стійкість інструменту 40 хв. та шорсткість оброблюваної поверхні $Ra = 0,75\text{--}0,85$ мкм.

Що стосується фрез та інших інструментальних матеріалів, (рис. 1, криві 1 та 3), вони поступаються за стійкістю фрезам з ВК8 (крива 5) та СВН (криві 5 та 6) і за ступенем підвищення інтенсивності зносу розташовані в такій послідовності: АТП, БПА.

Концеві фрези, оснащені різальними пластинами з БПА та АТП (рис. 1, криві 1 та 3), мають невеликий знос. Вони виявилися практично непридатними через катастрофічний знос внаслідок високої температури в зоні різання при фрезеруванні. За зовнішнім виглядом знос має характер абразивного.

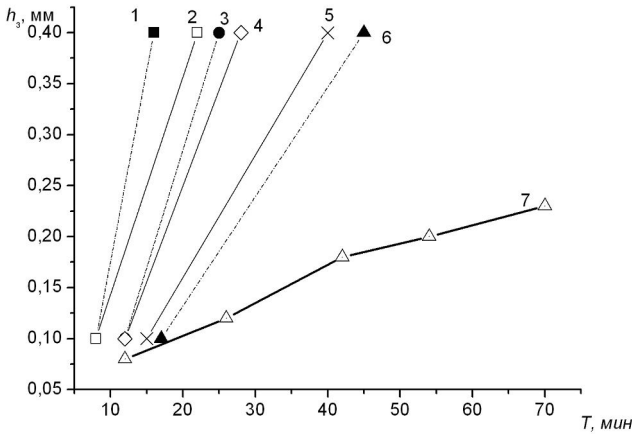


Рис. 1. Залежність зносу задньої поверхні різальних пластин концевой фрези від часу фрезерування титанового сплаву VT22: 1 – БПА без МОР; 2 – БПА з МОР “Трибол”; 3 – АТП без МОР; 4 – АТП з МОР “Трибол”; 5 – ВК8 без МОР; 6 – CBN без МОР; 7 – CBN з МОР “Трибол”

Для підвищення стійкості концевих фрез обробку проводили з охолодженням фосфатомісткою МОР “Трибол” (Декл. патент України № 50365А “Концентрат технологічного засобу для фінішної обробки металів”), призначеною для фінішної обробки важкооброблюваних матеріалів. Утворення мастильних плівок на контактних площинах інструменту знижує сили різання, запобігає зношенню різальних поверхонь фрези, тим самим підвищує її стійкість. З рисунка 1 (криві 2 та 4) видно, що при чистовому фрезеруванні титанового сплаву фрезами з пластинами БПА та АТП із застосуванням МОР “Трибол” стійкість фрез підвищується на 15–25 %, що практично не має значення. Значний ефект досягається при використанні МОР “Трибол” отриманого при фрезеруванні титанового сплаву концевими фрезами, що оснащені пластинками із CBN (крива 7). Стійкість інструменту збільшилася в 2,5–3,0 раза.

Швидкість різання при фрезеруванні титану є основним параметром, що визначає стійкість інструменту. Застосування пластин CBN дозволяє проводити обробку сплаву VT22 зі швидкостями різання більш ніж 60 м/хв. Максимальна стійкість інструменту, оснащеного ПНТМ на основі кубічного нітриду бору, при фрезеруванні титанових

сплавів досягає 100–120 хв. При цьому стабільно формується шорсткість оброблюваної поверхні $Ra\ 0,2-0,4$ мкм.

Таким чином, завдання отримання ефективних технологічних умов фрезерування титанового сплаву ВТ22, суттєво перевищених при використанні фрез із пластинами СВН, на сьогодні не можна вважати вирішеною.

З цього робимо висновок, що головним напрямком, який підвищує ефективність процесу чистового фрезерування титанових сплавів, є зниження енергії активації контактуючих у зоні різання поверхонь за рахунок варіювання режимами обробки, застосування інструментів з інертних та термостійких інструментальних матеріалів і введення в зону контакту спеціального технологічного середовища, що запобігає взаємодії титану з інструментальним матеріалом.

У ході виконання обробки застосовано ряд сучасних водорозчинних МОР та присадок як вітчизняного, так і іноземного виробництва: синтетичні та напівсинтетичні водорозчинні МОР серійного виробництва – 5 %-ні розчини боровмісних: “Велс-1М”, “Інкам-1”, “Камдек-1”, “Волгол-С”, а також “Sintilo-81E” (містить антизадири ПАР), “Sintilo-HRS” (містить хлор, фосфор), “Бласокат 4000” (містить етери СЖК, ПАР), “Тремлос” (містить синтетичні мила, електроліти), фосфоровмісної МОР “Автокат Ф40”, “Атмол-06” (містить бор, фосфор, ПАР), “Трибол” (містить бор, фосфор, азот), “Сінхо-10” (містить ПАР – блоксополімер окису етилену та окису пропілену), емульсолу “Автокат Ф78”, а також присадок – трибутилфосфату та водорозчинного фосфату, боровмісного карбаміду, хлоровмісної рідини “Саркозіл-О”, метилового етеру рапсової олії, етилового етеру солей жирних кислот (СЖК). Вивчення технологічних властивостей трибутилфосфату, метилового етеру рапсової олії та етилового етеру СЖК провадилося при 100 % концентрації, оскільки ці рідини практично не розчиняються у воді й використовуються як заміна мінеральних олів та гасу. Варто зазначити, що трибутилфосфат належить до другої категорії токсичності та в реальних МОР його концентрація не повинна перевищувати 3–5 % до маси.

В таблицях 1 і 2 представлено результати досліджень впливу МОР при алмазно-абразивній обробці титанових сплавів ВТ9 та ВТ22, армованих боридом титану (далі за текстом – ВТ22+TiB₂).

Таблиця 1

*Результати дослідження впливу МОР
при алмазно-абразивній обробці титанового сплаву ВТ9*

№ з/п	МОР	Тип	З'єм металу, мм/хв.	Параметри шорсткості поверхні (Ra, мкм; tp, %)						
				Ra	t ₅	t ₁₀	t ₂₀	t ₃₀	t ₄₀	t ₅₀
1	Велс-1М	н/с	0,04	0,65	0	1	4	13	25	47
2	Автокат Ф40	н/с	0,05	0,50	1	1	2	4	14	34
3	Автокат Ф78	е	0,04	0,92	2	5	11	29	38	56
4	Інкам-1	н/с	0,05	0,56	0	1	9	31	61	83
5	Камдек-1	н/с	0,05	0,36	10	12	20	27	34	52
6	Атмол-06	н/с	0,05	0,41	10	11	15	24	34	45
7	Волгол-С	с	0,06	0,45	8	14	21	35	48	62
8	Sintilo-81E	н/с	0,04	0,59	8	13	28	46	59	71
9	Sintilo-HRS	с	0,03	0,47	5	6	11	20	37	51
10	Бласокат 4000	н/с	0,07	0,52	7	10	15	22	34	47
11	Гремлос	с	0,04	0,34	14	15	26	38	51	63
12	Трибол	н/с	0,07	0,46	7	9	20	34	46	60
13	Сіно-10	н/с	0,06	0,88	1	2	10	25	40	51
14	Трибутилфосфат	п	0,03	1,30	1	2	6	18	38	57
15	Водорозчинний фосфат	п	0,02	0,83	1	1	7	21	41	62
16	Карбамід	п	0,02	1,40	1	2	5	11	20	39
17	Саркозіл-О	п	0,04	0,82	2	3	18	28	43	58
18	Метилловий етер рапсової олії	п	0,12	0,90	0	1	5	11	23	44
19	Етиловий етер СЖК	п	0,08	0,80	1	1	3	8	18	37

Тип МОР: с – синтетичні; н/с – напівсинтетичні; е – емульсія; п – присадка

Як видно з результатів експериментів, продуктивність алмазно-абразивної обробки титанового сплаву ВТ9 із застосуванням серійних МОР (табл. 1) у 2–3 рази перевищує оброблюваність сплаву ВТ22 + TiB₂ (табл. 2).

Таблиця 2
Результати дослідження впливу МОР при алмазно-абразивній обробці титанового сплаву ВТ22+TiB₂

№ з/п	МОР	Тип	З'єм металу, мм/хв.	Параметри шорсткості поверхні (Ra, мкм; tp, %)						
				Ra	t ₅	t ₁₀	t ₂₀	t ₃₀	t ₄₀	t ₅₀
1	Велс-1М	н/с	0,02	0,77	1	2	8	18	34	54
2	Автокат Ф40	н/с	0,03	0,51	0	1	4	11	19	32
3	Автокат Ф78	е	0,02	1,08	3	6	15	31	50	60
4	Інкам-1	н/с	0,03	0,78	0	1	5	16	34	56
5	Камдек-1	н/с	0,03	0,53	1	3	6	14	21	35
6	Атмол-06	н/с	0,03	0,51	2	7	19	33	54	68
7	Волгол-С	с	0,03	0,55	3	5	11	21	36	51
8	Sintilo-81E	н/с	0,01	0,27	2	3	5	8	13	21
9	Sintilo-HRS	с	0,02	0,65	7	8	15	28	38	48

10	Бласокаг 4000	н/с	0,03	0,48	12	13	18	25	37	48
11	Гремлос	с	0,02	0,62	8	13	24	41	55	73
12	Трибол	н/с	0,03	0,33	11	13	23	36	46	54
13	Сінхо-10	н/с	0,02	0,85	2	6	18	33	52	67
14	Трибугілфосфат	п	0,03	1,19	1	3	9	16	29	57
15	Водорозчинний фосфат	п	0,02	1,02	1	3	7	18	37	52
16	Карбамід	п	0,02	1,60	1	3	8	16	34	51
17	Саркозіл-О	п	0,03	1,20	3	5	11	22	40	60
18	Метилловий етер рапсової олії	п	0,05	0,80	0	0	3	13	33	53
19	Етиловий етер СЖК	п	0,04	0,80	1	3	9	20	41	67

Тип МОР: с – синтетичні; н/с – напівсинтетичні; е – емульсія; п – присадка

З урахуванням того, що характеристики початкової ділянки опірної кривої профілю шорсткості обробленої поверхні за всіх рівних умов безпосередньо пов'язані з експлуатаційними властивостями деталей пар тертя, то максимальною зносостійкістю володіють поверхні з титану ВТ9 після обробки з МОР "Трибол" (12). Як бачимо з таблиці 1 та результатів склерометрування, цей показник до 2 разів перевищує результати, що отримані із застосуванням більшості серійних МОР. Це свідчить про необхідність ретельного підбору компонентного складу МОР залежно від вимог до параметрів шорсткості поверхні деталі, яка формується. У випадку необхідності подальшої обробки деталі (після процесів хонінгування або суперфінішування) методами полірування та доводки найбільша продуктивність досягається при мінімальній несучій здатності шорсткості вихідної поверхні. Як видно з представлених результатів експериментів, оптимальним для цього є застосування на операціях попередньої алмазно-абразивної обробки сучасного екологічно чистого метилового етеру рапсової олії (18) рослинного походження.

Титанові сплави належать до матеріалів з високою питомою міцністю: при щільності $4,6 \text{ г/см}^3$ границя текучості досягає 1400 МПа у поєднанні з низькою теплопровідністю. Іншою особливістю титанових сплавів є їх здатність поглинати деякі хімічні елементи з навколишнього середовища. В результаті насичення оброблюваної поверхні киснем, нітрогеном, вуглецем утворюється шар підвищеної твердості. З літературних джерел також відомо, що в титані добре розчиняються сірка, фосфор та бор. Ця особливість титанових сплавів негативно впливає на процеси утворення захисних плівок та знижує сили тертя при різанні. При виборі складу МОР необхідно враховувати схильність титану до скріплення з поверхнею алмазних зерен в

інструменті та, як наслідок, утворювання задирок на оброблюваній поверхні деталі.

З таблиць 1, 2 бачимо, що з падінням продуктивності обробки шорсткість поверхні сплавів VT9 та VT22 + TiB₂ знижується. Виняток становлять результати випробування зразків МОР з низькими антизадирними властивостями (1, 3, 13–17). Застосування МОР “Бласокат 4000” (10), що має у складі етерні сполуки, а також серійних МОР з підвищеним вмістом антизадирних ПАР забезпечує найбільшу продуктивність та задовільну якість обробки сплавів VT9 та VT22+TiB₂ (7, 12). Підвищення продуктивності обробки сплаву VT22+TiB₂ до 2-х разів та VT9 до 4-х разів досягається із застосуванням метилового етеру рапсової олії та етилового етеру СЖК 100 % концентрації.

В таблиці 1 наведено характеристики опірних кривих шорсткості поверхні титанового сплаву VT9. Залежно від складу застосованої МОР, стабільної різальної здатності алмазно-абразивного інструменту несуча здатність обробленої поверхні сплаву VT9 збільшується від 2 до 6 разів. Як бачимо з проведених досліджень, зі зростанням шорсткості поверхні знижується її несуча спроможність.

У таблиці 2 наведені характеристики опірних кривих шорсткості поверхні титанового сплаву VT22+TiB₂. Характер отриманих кривих свідчить про аналогічну з VT9 залежність несучої здатності поверхні від формованої шорсткості. При цьому обробка зразків у присутності МОР з підвищеним вмістом фосфатів та ПАР (6, 12), а також слабких електролітів (11) призводить до зростання несучої здатності поверхні, яка формується.

Висновок. Таким чином, виявлено, що для умов фінішної алмазно-абразивної обробки (хонінгування та суперфінішування) титанових сплавів найбільша продуктивність обробки досягається застосуванням 5 %-их водяних розчинів МОР, що містять фосфати в кількості 8–12 % за масою та ПАР. Разом з тим, встановлено, що боро- та хлормісткі МОР на операціях хонінгування забезпечують продуктивність обробки в 2–4 рази нижчу, ніж із застосуванням фосфатомістких МОР.

Дослідженнями встановлено, що високу ефективність при обробці титанових сплавів показав етиловий етер рапсової олії 100 %-ої концентрації. Враховуючи рослинне походження та екологічну чистоту вихідної сировини, вказана речовина може бути рекомендована як замітник багатокomпонентних, дорогих, токсичних МОР і гасу на операціях хонінгування та суперфінішування.

РИЖОВ Юрій Едуардович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України.

Наукові інтереси:

- технологія машинобудування.

БУРИКІН Віталій Віталійович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України.

Наукові інтереси:

- технологія машинобудування;
- різання металів.

АБРАМОВА Світлана Леонідівна – провідний інженер Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України.

Наукові інтереси:

- технологія машинобудування.

Подано 14.09.2010