

Установлено, описаніє случайного процесу  $u(t)$ , где  $z(t)$  являється стаціонарним нормальним случайним процесом, с достаточной точностью и достоверностью отражает реальный процесс изменения ресурсного параметра и может быть взят за основу для прогнозирования остаточного ресурса агрегатов машины по результатам диагностирования последних.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ОСТАТОЧНЫЙ РЕСУРС, СЛУЧАЙНЫЙ ПРОЦЕСС, АГРЕГАТЫ МАШИНЫ, КВАДРАТИЧНАЯ ПОГРЕШНОСТЬ, ПОСЛЕРЕМОНТНЫЙ ПЕРИОД ЭКСПЛУАТАЦИИ, ДИАГНОСТИРОВАНИЕ МАШИН, ЗАПЫЛЕННОСТЬ ВОЗДУХА.

УДК 631.3.004

## ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ РАДІАЦІЙНИХ ПОЛІМЕРНИХ ДЕТЕКТОРІВ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ МЕТОДАМИ ІНЖЕНЕРІЇ ПОВЕРХНІ

Посвятенко Е.К., доктор технічних наук  
Тітаренко О.В., кандидат технічних наук

Постановка проблеми.

Сучасні прилади радіаційного контролю (дозиметри) на базі полімерних сцинтиляційних детекторів мають задовольняти широкому спектру метрологічних вимог. Підвищення гарантії строку дії детекторів при повному збереженні функціональних характеристик є важливою складовою їх конкурентоздатності. Великий потенціал у забезпеченні високої якості таких виробів традиційно визначається розвитком технологій синтезу полімерних матеріалів і удосконаленням механічного процесу їх обробки. У пошуках оптимальних умов виробництва особлива увага приділяється використанню нових інструментальних матеріалів та форм інструменту у широкому діапазоні параметрів режиму різання. Дослідження зміни мікрогеометрії поверхні полімеру при цьому – перший етап у призначенні обґрунтованих технологічних рекомендацій.

Аналіз досліджень.

За сукупністю вимірювальних та експлуатаційних характеристик детектори для реєстрації  $b$ -випромінювання на основі таких термопластичних полімерних матеріалів як полівінілкілол (ПВК) та поліметілметакрилат (ПММА) кращі, ніж неорганічні кристалічні матеріали [1]. Серед їх найголовніших переваг виділяють: короткочасність висвітлювання (2–4 нс); високу стійкість до радіаційного випромінювання (до 102 – 103 Грея), вакууму, вологи та температури, механічного навантаження; суттєву залежність від температури світлового виходу (від  $-20^{\circ}\text{C}$  до розм'якшення полімеру).

Детектори на основі ПВК мають найкращий серед оптичних полімерних матеріалів світловий вихід, а на основі ПММА – найкращу прозорість. Ефективне використання зазначених переваг можливо за умови забезпечення мінімальних змін фізико-механічних властивостей матеріалів у поверхневому шарі на кожному з етапів механічної обробки.

Особливістю дослідних полімерних матеріалів є здатність до акумулювання енергії деформації за рахунок перебудов у структурі та появи дефектів [2, 3], які з часом можуть значно погіршити оптичні та фізико-механічні властивості виробу. Саме тому забезпечення необхідної якості виключно на фінішних етапах обробки не дає гарантії довготривалості її збереження особливо в екстремальних умовах радіаційних випромінювань. Детальний розгляд попередніх етапів механічної обробки має створити належні умови для зменшення технологічної спадковості змінених властивостей поверхневого шару.

Метою дослідження є визначення обґрунтованих параметрів режиму різання при напівчистовій обробці ПВК та ПММА інструментом із твердого сплаву на основі досліджень стану мікроструктури поверхневого шару. Серед головних критеріїв якості обрано: рівномірність мікрорельєфу за структурою поверхні; рівень шорсткості за параметром  $Ra$  (згідно рекомендаціями [4]  $Ra = 0,64$  ч  $0,24$  мкм); мінімальна неоднорідність шорсткості поверхні ( $E$ , %).

Методика проведення експериментів.

Зразки ПВК та ПММА довжиною 50 мм, шириною 25 мм і товщиною 5 мм були оброблені торцевим фрезеруванням інструментом діаметром 80 мм зі вставкою однієї пластини із дрібнозернистого твердого сплаву типу ВК6М з параметрами:  $\alpha = 22^{\circ}$ ,  $\beta = 15^{\circ}$ ,  $\gamma = 90^{\circ}$ ,  $\gamma_1 = 2^{\circ}$ ,  $r = 0,4$  мм та довжиною різальної кромки  $l_1 = 2$  мм (виробництва концерну CERATIZIT, марка H216T

[5]) на оброблюваному центрі EMCO VMC 600 Heidenhain. Згідно з рекомендаціями [6] обрано наступні діапазони параметрів режиму різання: швидкість –  $v = 30; 800$  м/хв; подача –  $S = 0,05$  мм/об та глибина різання –  $t = 0,1; 0,5$  мм. Експериментальні дослідження особливостей мікрогеометрії оброблених поверхонь виконано контактним методом за допомогою профілографа-профілометра Hommel Tester T1000, а дослідження структури – методом електронної скануючої мікроскопії без нанесення струмопровідного покриття на мікроскопі Philips XL 30 ESEM-TMP та програмному забезпеченні 3D-MEX.

Результати досліджень.

Специфіка впливу теплових явищ на полімерні матеріали, що оброблюються різанням, обумовлена їх низькою теплопровідністю і теплостійкістю та великим коефіцієнтом теплового розширення. Особливості кінематики та механіки процесу торцевого фрезерування – утворення змінної товщини зрізу і складних неоднорідних переривчастих напруг розтягування та стиснення – створюють додаткові складності при формуванні мікрогеометрії поверхневого шару. Саме тому для повноти оцінки стану поверхні усі виміри оброблених зразків полімерів здійснювались з чотирьох сторін (рис. 1) уздовж допоміжного руху різання (вектору поздовжнього руху).

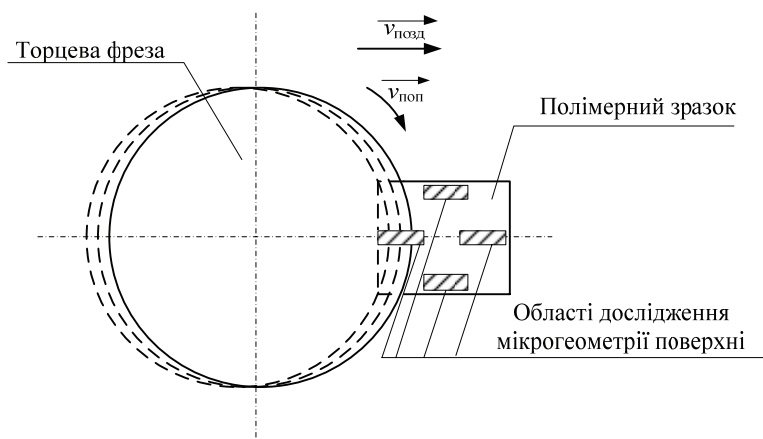


Рисунок 1 – Кінематична схема обробки полімерних зразків

Згідно з результатами досліджень, найбільші коливання структури оброблених поверхонь спостерігаються у напрямку головного руху різання (вектору поперечного руху), що є результатом інтенсивного теплоутворення у зоні різання. У напрямку допоміжного руху різання інструмент встигає при обертанні охолотитися і тенденції до збільшення шорсткості поверхні уповільнюються.

В залежності від термомеханічних умов структура всіх досліджених зразків за кроком мікронерівностей та шорсткістю мікропрофілю була класифікована на чотири типи (рис. 2): I – з рівномірним кроком мікронерівностей ( $Ra < 0,17$  мкм); II – з рівномірним кроком мікронерівностей та налипанням часточок полімеру ( $0,15 \leq Ra \leq 0,25$  мкм); III – з нерівномірним кроком мікронерівностей та налипанням часточок полімеру ( $0,25 \leq Ra \leq 0,50$  мкм); IV – з нерівномірним кроком мікронерівностей та оплавленням поверхні ( $0,50 \leq Ra \leq 0,70$  мкм).

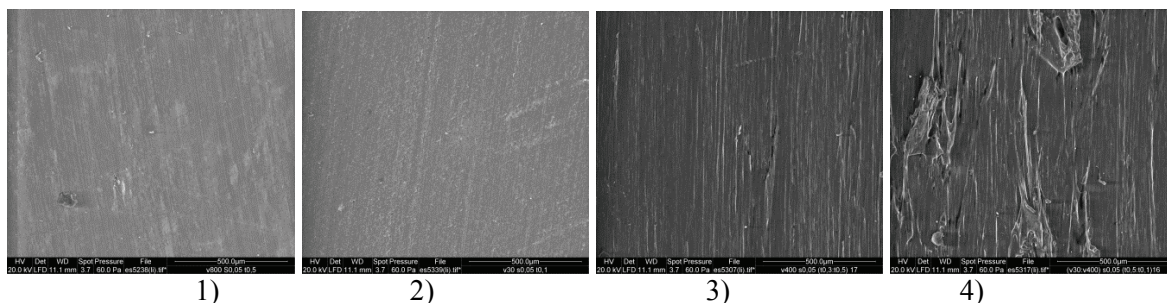


Рисунок 2 – Типи структури оброблених поверхонь полімерних матеріалів ПС, ПММА, ПВХ

В цілому, обробка полімерних зразків зі швидкістю  $v = 30$  м/хв здійснюється за механізмами крихкого руйнування з утворенням орієнтованих блоків макромолекул структури. Відповідний рівень деформації не перевищує 10 % [7]. На відміну від вже досліджених зразків полістеролу (ПС) [8], мікрогеометрія поверхонь ПММА та ПВХ відрізняється більшою стабільністю структури і

рівномірністю рельєфу. При обробці з  $t = 0,1$  мм вона повністю відповідає I-му типу структури (рис. 2, 1). Середній рівень шорсткості для ПММА становить  $Ra = 0,25 \pm 0,05$  мкм, а для ПВХ –  $Ra = 0,23 \pm 0,04$  мкм (таблиця 1). Збільшення глибини різання до  $t = 0,5$  мм провокує появлення II типу структури в напрямку вектору переважно у зразків ПВХ. Найбільша неоднорідність шорсткості поверхні спостерігається у зразків ПВХ при обробці з  $t = 0,5$  мм і становить  $E = 61,5$  %. Для зразків ПММА цей показник наближається до  $E = 40$  % при обробці з  $t = 0,1$  мм.

Вочевидь, оброблюваність матеріалу ПММА дещо краща, що є результатом його вищих фізико-механічних властивостей та більшої здатності структури до орієнтації. Зі збільшенням глибини різання мікрогеометрія поверхні стає навіть більш однорідною ( $E = 36,89$  %), а середні значення шорсткості зменшуються  $Ra_{cp} = 0,23 \pm 0,04$  мкм. Таким чином, знімання припуску при обробці ПММА можна здійснювати з більшою продуктивністю.

Таблиця 1 – Експериментальні параметри якості полімерних зразків

Швидкість різання, $v$ , м/хв	Глибина різання $t$ , мм	Середнє арифметичне відхилення профілю $Ra$ , мкм					Неоднорідність шорсткості поверхні $E$ , %	Тип структури
		Початок	Лівий бік	Правий бік	Кінець	$Ra_{cp}$		
ПММА								
30	0,1	0,19	0,29	0,24	0,28	0,25	40	I
	0,5	0,19	0,19	0,23	0,27	0,22	36,89	I-II
800	0,1	0,21	0,11	0,19	0,12	0,16	63,5	III
	0,5	0,32	0,44	0,31	0,28	0,3	53,33	IV
ПВХ								
30	0,1	0,27	0,19	0,21	0,19	0,215	37,21	I
	0,5	0,19	0,24	0,35	0,26	0,26	61,54	I-II
800	0,1	0,22	0,38	0,36	0,28	0,31	51,6	III-IV
	0,5	0,27	0,21	0,6	0,27	0,337	115,5	IV

Для матеріалу ПВХ раціональними є умови обробки з малими глибинами різання, скоріш за все, внаслідок більшої чутливості структури до деформацій. При цьому за критерієм середньої шорсткості ( $Ra_{cp} = 0,23 \pm 0,04$  мкм) якість поверхні може бути кращою, ніж у ПММА, тобто однією з можливостей знизити час на обробку є зменшення кількості проходів інструменту.

Перехід у зону обробки з більшою швидкістю для полімерних матеріалів характеризується підвищенням чутливості до збільшення температури та напруг у зоні різання. Внаслідок пришвидшення орієнтаційних процесів структури збільшується в'язкість матеріалу, а його деформація відбувається на межі твердого склоподібного та високоеластичного стану за непружним механізмом зі значним накопиченням енергії у перебудовах структури. Відомо, що у такому перехідному стані у полімерних склоподібних матеріалах з'являється здатність до значних зворотніх деформацій з повною або частковою релаксацією перенапруг, якщо механізм пластичного руйнування домінує над крихким руйнуванням матеріалу [9]. На прикладі обробки ПС нами був виявлений діапазон швидкостей  $v = 1150 \dots 1500$  м/хв, у якому за термодинамічними показниками було зафіксовано збільшення температури склування та значне покращення мікрогеометрії поверхні [8]. Тобто температурно-силове навантаження на поверхню здійснювалось у такі короткі проміжки часу, що її структура набувала орієнтаційного зміцнення. Саме це дало підставу рекомендувати встановлений діапазон для якісної обробки ПС у порівнянні з обробкою при  $v = 30$  м/хв.

Показники стану поверхонь ПММА та ПВХ після обробки з  $v = 800$  м/хв набагато кращі за стан поверхонь ПС. Мікроструктура поверхонь ПММА, яка отримана з  $t = 0,1$  мм, переважно належить до III типу (рис. 2, 3) з середнім рівнем шорсткості  $Ra = 0,16 \pm 0,05$  мкм (таблиця 1). При цьому неоднорідність шорсткості поверхні становить  $E = 63,5$  % через коливання значень параметру  $Ra$  між центральною частиною зразків та правою стороною. Збільшення глибини різання призводить до появи областей зі структурою IV типу (рис. 2, 4), підвищення шорсткості поверхні  $Ra = 0,38 \pm 0,06$  мкм, однак сприяє більш рівномірному її розподілу  $E = 53,3$  %. Вочевидь, при великій швидкості різання у загальному процесі температурно-силового навантаження суттєво зростає роль глибини різання. При цьому підвищується інтенсивність теплоутворення, полімерний матеріал поверхневого шару переходить у в'язко-рідкий фізичний стан, внаслідок чого відбитки від задньої поверхні інструменту стають менш помітними, а на окремих ділянках поверхні залишаються частки стружки.

Деформація зразків ПВК за таких умов призводить до певного погіршення якості поверхні у порівнянні з обробкою при  $v = 30$  м/хв. Середній рівень шорсткості при  $t = 0,1$  мм підвищується до  $Ra = 0,30 \pm 0,08$  мкм, а неоднорідність її розподілу – до  $E = 51,6$  %. У структурі поверхні переважає III тип з переходом від центральної частини зразка до IV типу (по ходу вектору поперечного руху). Подальше збільшення глибини різання не має сенсу, оскільки різниця між шорсткістю лівого та правого боків зразків досягає  $DRa = 0,39$  мкм, а показник неоднорідності зростає відповідно до  $E = 115,5$  %. Таким чином, обробка ПВК з  $v = 800$  м/хв відбувається переважно поза межами високоеластичного фізичного стану полімеру. За таких умов доцільно зменшувати інтенсивність теплоутворення шляхом зниження глибини різання. Перспективи є також у обробці ПВК з більшими швидкостями різання, оскільки при цьому зменшується час термомеханічного впливу на поверхню.

Висновки та перспективи.

Оброблюваність полімерних матеріалів на основі ПММА та ПВК краща, ніж ПС. Стабільність фізико-механічних характеристик, перш за все теплостійкості та міцності, обумовлює широкий діапазон параметрів режиму різання при обробці ПММА.

Обробку зі швидкістю  $v = 30$  м/хв дрібнозернистим твердосплавним інструментом визначеної геометрії слід рекомендувати для заключного етапу напівчистої стадії технологічного процесу з гарантією мінімального втручання у зміни структури поверхневого шару полімерів. При цьому глибину різання для ПММА краще призначити порядку  $t \geq 0,3$  мм, а для ПВК – до  $t = 0,1$  мм, коли завдяки певному розігріву зони контакту формується однорідний з усіх боків профіль шорсткості.

Зона високих швидкостей є пріоритетною з точки зору забезпечення продуктивності процесу. Показники якості при цьому можуть покращуватися лише за умови досягнення таких значень термомеханічного навантаження, при яких полімерні матеріали знаходяться у високоеластичному фізичному стані. Для ПММА такі умови спостерігаються при  $v = 800$  м/хв та  $t < 0,5$  мм. При обробці ПВК швидкість різання  $v = 800$  м/хв не є оптимальною через значні коливання параметру шорсткості в межах заготовки. Зменшення часу термомеханічного впливу може, по аналогії з обробкою ПС, визначити принципово нові з позицій якості та продуктивності діапазони параметрів режиму різання.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Гринев Б.В. Пластмассовые сцинтилляторы / Б.В. Гринев, В.Г. Сенчишин. – Х.: Акта, 2003. – 324 с.
2. Визуализация структурных перестроек ориентированных аморфных полимеров при отжиге / Вольнский А.Л., Гроховская Т.Е., Лебедева О.В., Бакеев Н.Ф. // Высокомолекулярные соединения. – 2006. – Сер. А, т. 48, № 5. – С. 834-847.
3. Деформация стеклообразных полимеров: запасание энергии на ранних стадиях нагружения / Шеногин С.В., Nohne G.W.H., Саламатина О.Б., и др. // Высокомолекулярные соединения. – Сер. А, 2004. – т. 46, №1. – С. 30-42.
4. Влияние условий механической обработки на изменение состояния поверхности оптических полимерных материалов при эксплуатации / Верезуб Н.В., Чернышов А.А., Литвиненко М.В. и др. // Резание и инструмент в технологических системах: Межд. научн.-техн. сб. – Харьков: НТУ "ХПИ", 2006. – Вып.70. – С. 76-89.
5. Каталог режущих инструментов. - WEB: <http://www.ceratizit.com>.
6. EN ISO 2818. Kunststoffe. Herstellung von Probekörpern durch mechanische Bearbeitung. – Bruessel: CEN, 1997. – 15 S.
7. Структурная томография полиметилметакрилата, деформированного в условиях одноосного сжатия / Вольнский А.Л., Гроховская Т.Е., Люлевич В.В. и др. // Высокомолекулярные соединения – 2004. – Сер. А, т.46, №2. – С. 247-256.
8. Посвятенко Е.К. Інженерія поверхні виробів з оптичних полімерів / Е.К. Посвятенко, О.В. Тітаренко // Вісник Національного Транспортного університету. – К.: НТУ, 2011. – Вип. 24. – С.30 – 34.
9. Гуль В.Е. Структура и механические свойства полимеров / В.Е. Гуль, В.Н. Кулезнев – М.: Высшая школа – Лабиринт, 1994. – 366 с.

#### РЕФЕРАТ

Посвятенко Е.К., Тітаренко О.В. Підвищення якості радіаційних полімерних детекторів технологічними методами інженерії поверхні / Едуард Карпович Посвятенко, Оксана Валеріївна Тітаренко // Вісник НТУ. – К.: НТУ. – 2012. – Вип. 26.

У статті розглянуто проблему підвищення якості радіаційних детекторів на основі полімерних матеріалів технологічними методами інженерії поверхні, зокрема фрезеруванням.

Об'єкт дослідження – прилади радіаційного контролю на базі полімерних сцинтиляційних детекторів.

Мета роботи – визначення обґрунтованих параметрів режиму різання при напівчистовій обробці ПВХ та ПММА інструментом із твердого сплаву на основі досліджень стану мікроструктури поверхневого шару.

Метод дослідження – експериментально-теоретичні дослідження мікрогеометрії поверхні та мікроструктури поверхневого шару при торцевому фрезеруванні твердосплавним інструментом зразків ПВХ та ПММА.

Технологічні методи інженерії поверхні радіаційних детекторів на основі полімерів ПММА та ПВХ, зокрема торцеве фрезерування дрібнозернистим твердосплавним інструментом дозволяє зберегти комплекс фізико-механічних характеристик цих матеріалів на напівчистовій стадії технологічного процесу. Зона високих швидкостей є пріоритетною при умові зменшення часу термомеханічного впливу, коли полімери знаходяться у високоеластичному фізичному стані.

При обробці ПВХ швидкість різання  $v = 800$  м/хв не є оптимальною через значні коливання параметру шорсткості в межах заготовки. Зменшення часу термомеханічного впливу може, по аналогії з обробкою полістиролу, визначити принципово нові з позицій якості та продуктивності діапазони параметрів режиму різання.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ПОЛІВІНІЛКСИЛОЛ, ПОЛІМЕТІЛМЕТАКРИЛАТ, ТОРЦЕВЕ ФРЕЗЕРУВАННЯ, ДРІБНОЗЕРНИСТИЙ ТВЕРДИЙ СПЛАВ, РАДІАЦІЙНИЙ КОНТРОЛЬ, В'ЯЗКІСТЬ ПОЛІМЕРІВ.

#### ABSTRACT

Posviatenko E.K., Titarenko O.V. Improving the quality of radiation polymer detectors engineering methods of surface engineering / Eduard Karpovich Posviatenko, Oksana Valerijvna Titarenko // Visnyk NTU. – К.: NTU. – 2012. – Vol. 26.

In the article the problem of improving the quality of radiation detectors based on polymer materials engineering methods of surface engineering, in particular milling are consider/

Object of study – radiation monitoring devices based on polymer scintillation detectors/

Purpose – determination substantiated parameters of the cutting conditions of semi-finished machining of PVK and PMMA by carbide tool on based research on the state of the microstructure of the surface layer.

Method of research – experimental and theoretical study of the microgeometry surface and microstructure of the surface layer in face milling carbide tools PVK and PMMA samples.

Technological methods of surface engineering of radiation detectors from polymers PMMA and PVK, particularly face milling fine-grained carbide tool, you can save a complex of physical and mechanical characteristics of these materials finishing stage of the process. Area high speed is a priority, provided reduction time thermomechanical effect when the polymer is in rubbery physical condition.

When processing STC cutting speed  $v = 800$  m / min is not optimal due to significant fluctuations in the roughness parameter within the workpiece. Reducing the time of thermomechanical effects may, by analogy with the processing of polystyrene define entirely new parameter ranges cutting conditions from the standpoint of quality and productivity.

**KEY WORDS:** POLIVINIKSILOL, POLYMETHYLMETHACRYLATE, FACE MILLING, FINE-GRAINED HARD METALS, RADIATION CONTROL, VISCOSITY OF THE POLYMER.

#### РЕФЕРАТ

Посвятенко Э.К., Титаренко О.В. Повышение качества радиационных полимерных детекторов технологическими методами инженерии поверхности / Эдуард Карпович Посвятенко, Оксана Валерьевна Титаренко // Вестник НТУ. – К.: НТУ. – 2012. – Вып. 26.

В статье рассмотрено проблему повышения качества радиационных детекторов на основе полимерных материалов технологическими методами инженерии поверхности, в частности фрезерованием.

Объект исследования – приборы радиационного контроля на базе полимерных сцинтилляционных детекторов.

Цель работы – определение обоснованных параметров режимов резания при лучистой обработке ПВХ и ПММА инструментом из твердого сплава на основе исследований состояния микроструктуры поверхностного слоя.

Метод исследования – экспериментально-теоретическое исследование микрогеометрии поверхности и микроструктуры поверхностного слоя при торцевом фрезеровании твердосплавным инструментом образцов ПВХ и ПММА.

Технологические методы инженерии поверхности радиационных детекторов на основе полимеров ПММА и ПВХ, в частности торцевое фрезерование мелкозернистым твердосплавным инструментом, позволяют сохранить комплекс физико-механических характеристик этих материалов на лучистой стадии технологического процесса. Зона высоких скоростей является приоритетной при условии уменьшения времени термомеханического влияния, когда полимеры находятся в высокоэластичном физическом состоянии.

При обработке ПВХ скорость резания  $v = 800$  м/мин не является оптимальным из-за значительных колебаний параметра шероховатости в пределах заготовки. Уменьшение времени термомеханического влияния может, по аналогии с обработкой полистирола, определить принципиально новые диапазоны параметров режима резания с позиций качества и производительности.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** ПОЛИВИНИКСИЛОЛ, ПОЛИМЕТИЛМЕТАКРИЛАТ, ТОРЦЕВОЕ ФРЕЗЕРОВАНИЕ, МЕЛКОЗЕРНИСТЫЙ ТВЕРДЫЙ СПЛАВ, РАДИАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ, ВЯЗКОСТЬ ПОЛИМЕРОВ.