

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 7

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСІВ СТРУЖКОУТВОРЕННЯ ПРИ ОБРОБЦІ ПОЛІМЕРІВ

1. Контактні процеси і стружкоутворення

Дослідження процесу деформації ПС і ПММА проводили при вільному різанні на спеціальному стенді зі швидкостями до 1,0 м/хв. На оброблювану заготовку по торцевій поверхні наносили ділильну сітку зі стороною ячейки 0,05-0,1 мм. Фіксувалися перекручування ділильної сітки в процесі деформації. Прийнято допущення, що прямокутна ділильна сітка деформується пропорційно розміру виникаючих у матеріалі деформацій, а напружений стан зони деформації матеріалу є плоским і знаходиться у в'язкопластичній області. У процесі обробки варіювали переднім кутом інструмента γ і глибиною різання t .

Отримана в процесі різання зона деформації (рис. 1) піддавалася графічній обробці за методикою, запропонованою в роботі Деля. Розрахунок деформації, що виникає в оброблюваному матеріалі, визначали за збільшенням координат вузлових точок сітки і кута повороту елементів сітки. Далі будувалися епюри головних логарифмічних деформацій.

При вдавлюванні різального клина з позитивним переднім кутом у полімерний матеріал зона у вершини інструмента піддається значним розтягуючим деформаціям; у міру віддалення від вершини інструмента і поверхні заготовки рівень розтягуючих деформацій знижується і наближається до рівня стискуючих. При значенні $\gamma = 0^\circ$ рівень деформацій розтягу і стиску приблизно однаковий по всій довжині контакту інструмента з заготовкою, але за своєю величиною значно перевищує рівень деформацій, отриманих при позитивних значеннях переднього кута. При негативних значеннях переднього кута розтягуючі деформації поширюються нижче сліду поверхні різання, порушуючи вихідний поверхневий

прошарок оптичної деталі, що вкрай небажано для забезпечення оптичних характеристик виробу.

На етапі квазівстановленого режиму обробки зменшується зона і величина деформації оброблюваного матеріалу. При цьому вона досягає розмірів (0,5–0,7) t за напрямком вектора швидкості і поширюється під оброблену поверхню виробу на глибину (0,05–0,3) t.

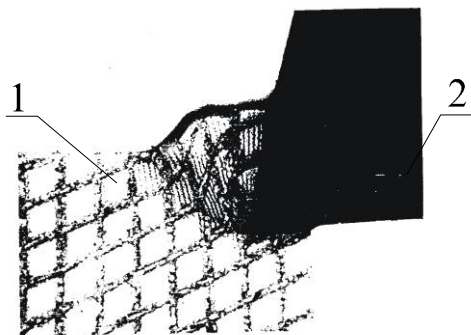


Рис. 1. Зона деформації: 1 – оброблюваний полімер, 2 – різальний інструмент

Вивчення механіки ортогонального різання полімерних матеріалів дозволяє визначити кут зсуву ϕ і величину деформації зсуву ε .

Кут зсуву визначається за мікрофотографіями зони деформації полімерного оптичного матеріалу під впливом різального клина. Значення кута деформації зсуву, відповідно до механіки ортогонального різання, розглянуті в роботах А.Кобояши і Дж.Армарего, визначаються з виразу:

$$\varepsilon = \frac{\cos \phi}{\sin \phi \cos(\phi - \gamma)},$$

де ϕ – кут зсуву;

γ – передній кут різального інструмента.

Результати розрахунків наведені в таблиці 1.

Негативний передній кут інструмента і велика глибина різання призводять до зменшення кута зсуву, прошарку матеріалу, що

зрізається. При цьому деформація зсуву збільшується і погіршується якість обробленої поверхні оптичних виробів.

Таблиця 1

Параметри зсуву в деформованій зоні полімерних матеріалів

Оброблюваний матеріал	Параметри обробки			Кут зсуву, θ , град.	Деформація зсуву, ε
	Передній кут, γ , град.	Швидкість різання, v , м/хв	Глибина різання, t , мм		
ПС	+10	1,0	0,4	43	1,656
	0	1,0	0,4	35	1,743
	-5	1,0	0,4	32	2,004
	+10	1,0	1,0	31	1,783
ПММА	+10	1,0	1,0	44	1,249
	0	1,0	1,0	36	1,589
	-5	1,0	1,0	39	1,824

Дослідження коренів стружки при обробці полістиролу і поліметилметакрилату показали, що при сталому процесі різання утвориться стружка трьох типів:

- безперервна зливна утворюється при малих і великих швидкостях різання і малих перетинах зрізу; коливання сили різання і рівень вібрації технологічної системи невеликі; формується поверхня високої якості, що забезпечує відповідні оптичні характеристики виробу;

- безперервна сколювання утворюється при невисоких швидкостях різання і великих перетинах зрізу, на обробленій поверхні утворюються сліди від різального інструмента. Даний тип стружки характерний для напівчистових операцій механічної обробки;

- сколювання утворюється при середніх швидкостях різання, великих перетинах зрізу і негативних передніх кутах різального інструмента, коли технологічна система сприймає вібрації та високий рівень сили різання, а на обробленій поверхні присутні тріщини, каверни, оплавлення полімеру.

У таблиці 2 подані форми стружки, отримані при точінні ПС синтетичними алмазними різцями, в залежності від швидкості різання, подачі та переднього кута інструмента.

Таблиця 2

**Форма стружки в залежності від режимів різання
і переднього кута інструмента**

Швид- кість різання, м/хв	Подача, мм/об	Форма стружки								
		Зливна			Безперервна сколювання			Сколювання		
		Передній кут								
		+10°	0°	-5°	+10°	0°	-5°	+10°	0°	-5°
50	0,005	•	•	•						
	0,01	•	•	•						
	0,02				•	•				
500	0,005				•	•				•
	0,01				•				•	•
	0,02							•	•	•
1000	0,005	•								
	0,01			•	•	•				
	0,02									•
1500	0,005	•	•							
	0,01				•	•				
	0,02							•	•	•

При свердлінні полімерів форма стружки має більше значення, ніж при точінні і фрезеруванні, тому що вона впливає на відведення стружки. Тут також утворюється стружка трьох типів, проте чітко виражені форми стружки утворюються рідко.

2. Теплові явища

Температура різання є одним із найважливіших фізичних факторів обробки, тому що від її рівня залежить ступінь термічної деструкції оптичних полімерних виробів. Термічна деструкція, що активно розвивається при температурах понад 80 °С, відіграє негативну роль у формуванні поверхневого прошарку і функціональних властивостей оптичних виробів.

Температура при різанні оптичних полімерів визначалася експериментально за допомогою рідкокристалічних термоплівків

з температурою плавлення 28°C і 38°C , заполімеризованих у об'єм оброблюваного матеріалу. Базовим матеріалом у дослідженнях був прийнятий полістирол, тому що він має більш низьку теплостійкість у порівнянні з поліметилметакрилатом.

На рис. 2 показаний вплив швидкості різання на характер поширення температурних ізотерм (28°C і 38°C) в оброблюваному прошарку полістиролу.

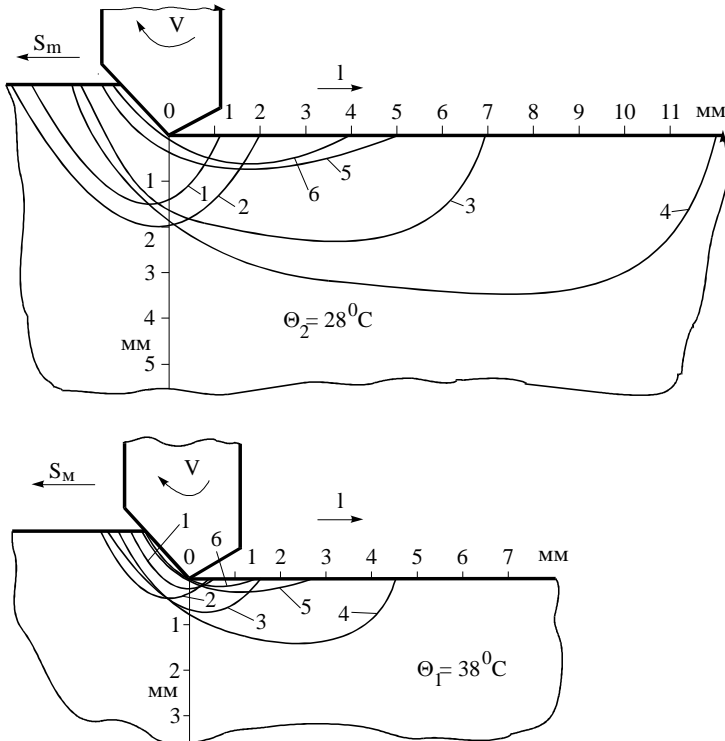


Рис. 2. Вплив швидкості різання на характер поширення температурних полів. Умови: швидкості різання – 1. $v = 25$ м/хв; 2. $V = 55$ м/хв; 3. $v = 110$ м/хв, 4. $v = 250$ м/хв, 5. $v = 440$ м/хв; 6. $v = 740$ м/хв

При малих швидкостях різання тепловий потік поширюється на значну глибину під обробленою поверхнею заготовки, у той же час торкаючись на довжині невеличку ділянку обробленої поверхні. Подальше збільшення швидкості фрезерування ($v = 70$ м/хв) призводить до того, що фронт теплової хвилі

витагується уздовж напрямку руху подачі. Із збільшенням швидкості різання при незмінній подачі на зуб фрези зростає значення повздовжньої подачі і через низьку теплопровідність полістиролу тепловий потік при відносно високих температурах у зоні різання не встигає глибоко проникнути в прошарок оброблюваного матеріалу. Основний вплив високих температур припадає на оброблену поверхню полімеру. При високих швидкостях різання спостерігається зменшення площі поширення теплових потоків. Проведено аналогічні дослідження впливу подачі та глибини на температуру різання.

Отримані дані дозволяють розрахувати значення температури безпосередньо в зоні контакту леза різального інструмента й оброблюваного матеріалу.

З використанням результатів експериментів з вивчення динаміки поширення температурних полів визначені середні значення щільності теплових потоків при різноманітних режимах фрезерування полістиролу (табл. 3) і розрахована температура на ділянці контакту леза різального клина з оброблюваним матеріалом (рис. 3).

Вплив швидкості фрезерування на температуру при обробці оптичних полімерів типу полістирол і поліметилметакрилат представлено на рис. 4.

У зоні середніх швидкостей спостерігається інтенсивне зростання температури. Настільки різке підвищення температури для матеріалів, які мають низьку теплостійкість, за умови одержання високої якості поверхні з мінімальною термічною деструкцією, диктує необхідність обробки з низькими швидкостями фрезерування у межах 25–60 м/хв. При середніх швидкостях різання збільшується робота в'язкопружної деформації полімеру, що призводить до збільшення тепла, що виділяється. Утворений прошарок в'язкоплинного полімеру внаслідок адсорбційно-адгезійних явищ налипає на поверхню різального інструмента, значно погіршуючи шорсткість поверхні.

Таблиця 3

**Середнє значення щільності теплового потоку
при фрезеруванні полістиролу**

Режими різання			Щільність теплового потоку, Вт/м ²
Швидкість різання, <i>V</i> , м/хв	Подача, <i>S</i> , мм/зуб	Глибина різання, <i>t</i> , мм	
25	0,01	1,0	785
55	0,01	1,0	970
55	0,03	1,0	1850
55	0,05	1,0	1550
55	0,01	0,5	840
55	0,01	1,5	1100
55	0,01	2,0	1290
110	0,01	1,0	2110
250	0,01	1,0	5065
440	0,01	1,0	1940
740	0,01	1,0	1810

У зоні середніх швидкостей глибина деструкції може досягати 0,8÷1,0 мм, що призводить до появи значних термодефектів у поверхневому прошарку заготовки.

Високі температури різання погіршують екологічні показники виробництва, тому що призводять до зниження молекулярної маси і термічної деструкції полістиролу.

При високих швидкостях різання (понад 1000 м/хв) в'язкопружна деформація переходить у крихку руйнацію, що призводить до меншого тепловиділення. Відбувається локалізація зони руйнації, що призводить до зменшення тертя в контакті пари «оброблюваний матеріал – ріжучий інструмент». Діапазон високих швидкостей може бути найкращим для прецизійної обробки, але тут вирішальним фактором стають вібраційні явища технологічної системи, що пов'язано з погіршенням шорсткості обробленої поверхні.

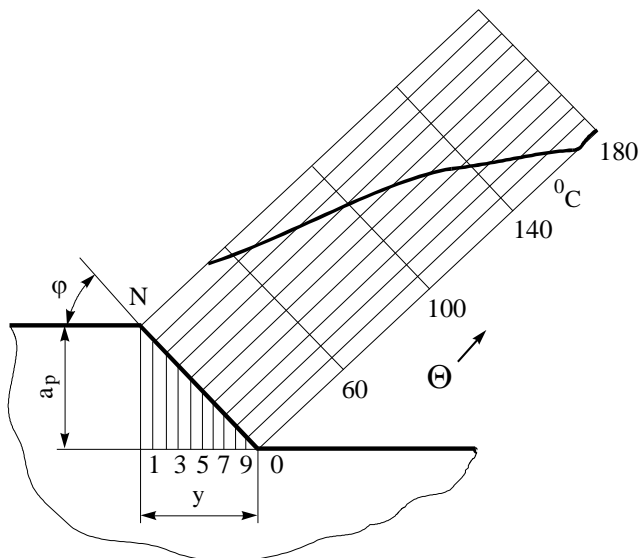


Рис. 3. Розподіл температури по довжині лека інструмента

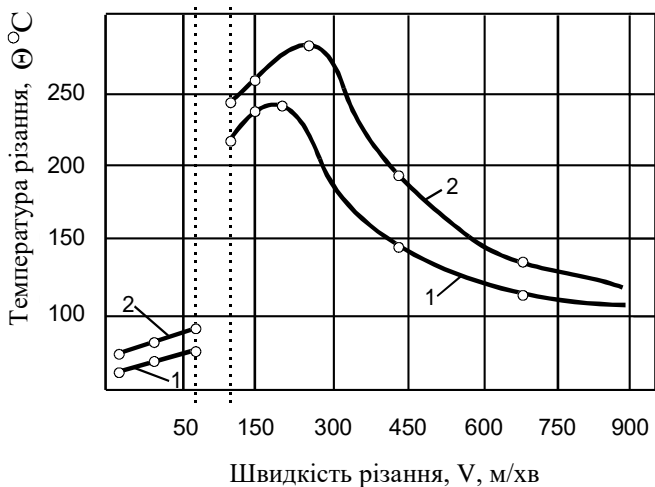


Рис. 4. Вплив швидкості різання на температуру при обробці поліметилметакрилату (1) і полістиролу (2). Умови: подача – $S_z = 0,01$ мм/зуб; глибина – $t = 0,5$ мм

Рівень граничних значень подачі обраний у межах 0,005–0,1 мм/зуб, що відповідають реальним умовам обробки

полімерних оптичних матеріалів. У інтервалі подач 0,03–0,08 мм/зуб спостерігається зниження температури в зоні різання, що пов'язано із збільшенням швидкості прямування теплового джерела відносно оброблюваної заготовки. Подальше збільшення подачі та площі перетину зрізуваного прошарку призводить до зростання температури різання.

Вивчення впливу властивостей інструментальних матеріалів на температуру показує безсумнівну перевагу алмазного інструмента. Швидкорізальна сталь і твердий сплав призводять до зростання температури в зоні різання на 20–45 %.

3. Зносостійкість різального інструмента

Радіус округлення різальних кромки інструментів відіграє вирішальну роль у формуванні поверхневого прошарку полімерних оптичних матеріалів. Мінімально можливе його значення ($\rho \leq 1$ мкм) забезпечує одержання оптично прозорої поверхні виробу. Для прецизійної обробки оптичної поверхні доцільно застосовувати природний монокристалічний алмаз, що має високу теплопровідність і мінімальний коефіцієнт тертя. На чистових операціях фрезерування монокристалічний алмаз практично не піддається зносу, не спостерігається збільшення радіуса округлення. Проте застосування інструмента з природних монокристалічних алмазів на всіх операціях обробки полімерної оптики є економічно неефективним. Це обумовлено як його високою вартістю, так і розкидом показників довговічності. Швидкорізальний інструмент Р9, що може забезпечити початковий радіус округлення $\rho = 4\text{--}8$ мкм, піддається помітному зношуванню з боку полімерних матеріалів. З урахуванням жорстких вимог до якості обробки необхідний правильний вибір критерію затуплення різального інструмента.

При обробці полімерних композитів інструментами звичайної та надвисокої твердості відсутній період катастрофічного зношування, тому що йому завжди передує неприпустиме погіршення якості обробленої поверхні виробу. В цих випадках використовують критерій технологічного зносу. Інструмент вважається затупленим, коли лінійний знос задньої

поверхні сягає значення, рівного технологічному зносу, якому відповідає технологічна ознака – погіршення якості обробленої поверхні.

Для різальних інструментів, які здійснюють обробку полімерних оптичних матеріалів, більш об'єктивним показником зношування є округлення леза інструмента. При збільшенні радіуса округлення різко збільшується шорсткість обробленої поверхні та виникають тріщини «срібла».

Незважаючи на те, що прийняття радіуса округлення як критерію зносу у виробничих умовах пов'язане з труднощами внаслідок складності прямого виміру його припустимого розміру, цей параметр є найбільш об'єктивною критеріальною характеристикою зношування інструмента. На чистових, фінішних операціях величина радіуса округлення не повинна перевищувати 1,0 мкм, на напівчистових операціях 10–15 мкм.

Знос інструмента є найважливішим показником його працездатності, проте фізична природа зношування вивчена на рівні гіпотез через виняткову складність контактних процесів при обробці полімерних матеріалів.

За допомогою методу електронного парамагнітного резонансу встановлено, що в зоні різання полімерних матеріалів утворюються вільні макрорадикали в результаті деструкції полімерного сполучного. Г.А. Гороховським, Б.І. Костецьким показано, що полімери в процесі деструкції спроможні активувати поверхневе диспергування твердих тіл. Диспергування протікає під дією утворених в процесі деструкції вільних макрорадикалів, які мають властивості поверхнево-активних речовин. Явище активації руйнації твердих тіл протікає завдяки дії ефекту Ребіндера.

Механізм ефекту Ребіндера характеризується двома складовими впливу адсорбційно-активного середовища на процес диспергування твердих тіл. Молекули полімеру, що адсорбуються, викликають зниження поверхневої енергії твердого тіла, що сприяє полегшенню диспергування. Крім того, мігруючи по свіжооголеним поверхням дефектів, молекули полімеру, що утворюються в процесі зносу інструмента, запобігають їхньому самозалічуванню, що також прискорює процес зношування.

Встановлено, що адсорбційні властивості твердих тіл багато в чому визначаються станом їхньої поверхні, зокрема розмірами мікронерівностей та кількістю мікротріщин на контактуючих поверхнях різального інструмента.

Природно очікувати проникнення вільних радикалів полімеру в мікротріщини швидкорізального інструмента. При цьому вільні макрорадикали впливають розклинювально, інтенсифікують знос.

Адгезійне та водневе зношування різального інструмента вивчали за допомогою інфрачервоної спектроскопії деформуваного прошарку полімеру. В результаті деструкції відбувається утворення водню, що викликає водневе зношування швидкорізального інструмента. Очевидно, що механізм водневого зношування може мати помітний вплив лише при обробці оптичних полімерних матеріалів швидкорізальним інструментом.

Значне падіння кількості функціональних груп призводить до зменшення адгезійної взаємодії полімеру й інструментального матеріалу, що, як видно, можливо тільки при малій частці термічної деструкції. У цьому випадку відбувається утворення міцних хімічних зв'язків і збільшується інтенсивність зносу різального інструмента.

4. Порядок виконання роботи

1. Розглянути особливості контактних процесів взаємодії різального інструмента й оптичних полімерів?
2. Вивчити форми стружок при різанні оптичних полімерів.
3. Визначити порядок оцінювання сталості прецизійної технологічної системи?
4. Навести приклади експериментальних методик визначення температури різання.
5. Розглянути методики теоретичного розрахунку температури в зоні різання.
6. Встановити основні температурні закономірності при лезовій обробці оптичних полімерів?