

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій
(повна назва)
Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки
(повна назва)

АТЕСТАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

другий (магістерський)

(рівень вищої освіти)

«Автоматизація вибору технологічних параметрів, щодо стійкості інструменту
при обробці композиційних матеріалів»

(тема)

Виконав: студент 2 курсу, гр. АУТПм-19-1
Приходько В.О.

(прізвище, ініціали)

Спеціальність 151-Автоматизація та
комп'ютерно інтегровані технології
освітньої програми Автоматизоване управління
технологічними процесами

(код і повна назва напрямку)

Тип програми освітньо-професійна
(повна назва освітньої програми)

Керівник доц. Письменецький В.О.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту
зав. кафедри

(підпис)

Невлюдов І.Ш.
(прізвище, ініціали)

2020 р

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет	Автоматики і комп'ютеризованих технологій
Кафедра	Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки
Рівень вищої освіти	другий (магістерський)
Спеціальність	151-Автоматизація та комп'ютерно інтегровані технології
Тип програми	освітньо-професійна
Освітня програма	Автоматизоване управління технологічними процесами
(код і повна назва)	

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

« _____ » _____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ
НА АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові	Приходько Віталій Олександрович (прізвище, ім'я, по батькові)
1. Тема роботи	Автоматизація вибору технологічних параметрів, щодо стійкості інструменту при обробці композиційних матеріалів
затверджена наказом по університету від 02.11. 2021 р. № 1510 Ст	
2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії	07.12. 2020 р.
3. Вихідні дані до роботи	Циліндричні кожухи з композиційного вуглепластику товщиною 2,5-4 мм, і якому треба просвердлити від 750 до 2500 отворів діаметром 2,5 -4,0 мм на повну глибину. Матеріал заготовки – односпрямований вуглепластик або тканий перехресно намотаний багатошаровий композит. Матеріал сполучного епоксидна смола, вміст армуючого матеріалу 35-65%. Операція здійснюється на багатошпиндельному переналагоджуваному агрегатному верстаті без охолодження. Операції після свердлення не передбачені, тобто операція остання.
4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі	
4.1 Вступ;	
4.2 Аналіз проблем і особливостей обробки свердленням вуглепластиків, інструмент що до його обробки і його гарантована стійкість при заданій якості	
4.3 Підготовчий пошук даних до створення програми автоматизованого вибору інструменту і технологічних параметрів обробки;	
4.4 Теоретичне і практичне обґрунтування розрахунку стійкості інструменту;	
4.5 Охорона праці;	
4.6 Висновки.	

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) Демонстраційний матеріал представлений у форматі презентації PowerPoint (*.ppt) – 13 с. формату А4

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

Найменування розділу	Керівник (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Актуальні питання та особливості автоматизованої механічної обробки полімерних композиційних матеріалів. Багатошарові композиційні матеріали, їх властивості та особливості обробки	02.09.2020 р.–27.09.2020 р.	виконано
2	Математичні моделі основних теоретичних положень та фізичних закономірностей механічної обробки полімерних композитів	28.09.2020 р. –25.10.2020 р.	виконано
3	Особливості місцевого руйнування слоїстих пластиків при точінні та свердленні і математичне моделювання цього процесу	26.10.2020 р. – 08.11.2020 р.	виконано
4	Зношування інструменту при обробці композиційних пластиків у багатосерійному автоматизованому виробництві	9.11.2020 р.– 22.11.2020 р.	виконано
5	Охорона праці під час автоматизованої обробки полімерних композиційних матеріалів	23.11.2020 р. –29.11.2020 р.	виконано
6	Оформлення пояснювальної записки	30.11.2020 р. – 06.12.2020 р.	виконано
7	Подання до ЕК	07.12.2020 р.	виконано

Дата видачі завдання 01.09.2020

Студент

(підпис)

Керівник роботи

(підпис)

Приходько В.О.

(прізвище, ініціали)

доц. Письменецький В.О.

(посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить: 110 с., 9 табл., 28 рис., 1 дод., 32 джерел.

СВЕРДЛЕННЯ БАГАТОШАРОВИХ КОМПОЗИТИВ, ЗНОШУВАННЯ І СТІЙКІСТЬ ІНСТРУМЕНТУ, ТЕХНОЛОГІЧНІ ПАРАМЕТРИ ОБРОБКИ.

Об'єкт дослідження – механічна обробка композиційних матеріалів свердлінням; особливості зношування інструменту при свердленні і прогнозування якості обробленої поверхні; вплив типу інструменту і технологічних параметрів обробки на показники зношування і якості поверхні.

Предмет дослідження – побудова математичної моделі стійкості інструмента для забезпечення гарантованої працездатності при зміні вхідних даних обробки.

Мета роботи – прогнозування інтенсивності зношування і характеру появи дефектів поверхні отворів при свердленні різними типами інструментів для побудови системи автоматизованого вибору параметрів обробки.

Методи дослідження – методи математичного аналізу, методи ідентифікації, методи оптимізації, регресійний аналіз, елементи механіки руйнування та теорії різання матеріалів.

Головна ідея роботи полягає в розробці теоретичних і практичних обґрунтувань для моделювання зношування інструменту при свердленні різними типами інструментів, систематизація даних по інтенсивності зношування свердел з різними геометричними параметрами і облік цих даних в моделі.

На базі проведеного дослідження обрані математичні моделі залежності усіх впливаючих параметрів. Для цього використано методи регресійного аналізу, зроблено постановку повного факторного експерименту для трьох параметрів, які найбільше впливають на функціонування та дозволяють гарантовано змінювати технологічні параметри обробки для забезпечення стійкості інструменту.

ABSTRACT

Explanatory note contains: 110 p., 9 tables, 28 figures, 1 appendix, 33 sources.

DRILLING OF MULTILAYER COMPOSITES, WEAR AND STABILITY OF THE TOOL, TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF PROCESSING.

The object of research is features of tool wear during drilling and forecasting the quality of the treated surface; the influence of the type of tool and technological parameters of processing on the indicators of wear and surface quality.

The subject of research is construction of a mathematical model of the stability of the tool to ensure guaranteed performance when changing the input processing data.

The purpose of the master's certification work is to predicting the intensity of wear and the nature of the appearance of surface defects with different types of tools, and to build a system of automated selection of processing parameters.

Research methods are the methods of mathematical analysis, methods of identification, methods of optimization, regression analysis, and elements of fracture mechanics and the theory of cutting materials.

The main idea of the work is to develop theoretical and practical justifications for modeling tool wear during drilling with different types of tools, systematization of data on the intensity of wear of drills with different geometric parameters and accounting for this data in the model.

On the basis of the conducted research mathematical models of dependence of all influencing parameters are chosen. For this purpose, the methods of regression analysis were used; a complete factorial experiment was set up for the three parameters that most influence the functioning and allow to change the technological parameters of processing to ensure the stability of the tool.

ЗМІСТ

Перелік скорочень, умовних познач, одиниць і термінів	7
Вступ.....	10
1 Актуальні питання та особливості автоматизованої механічної обробки полімерних композиційних матеріалів	13
1.1 Багатошарові композиційні матеріали, їх властивості та особливості обробки	14
1.2 Формулювання актуальних питань, аналіз літературних джерел та відомих даних по проблемі автоматизованої обробки композиційних матеріалів.....	19
1.3 Висновки до розділу	25
2 Математичні моделі основних теоретичних положень та фізичних закономірностей механічної обробки полімерних композитів	27
2.1 Види, типи та геометричні параметри інструменту, і його особливості при різанні різних типів композиційних пластиків	27
2.2 Визначення основних геометричних параметрів інструментів	32
2.3 Моделювання факторів силового навантаження та кінематичних складових процесі взаємодії інструменту та матеріалу	34
2.4 Висновки до розділу	48
3 Особливості місцевого руйнування слоїстих пластиків при точінні та свердленні і математичне моделювання цього процесу	49
3.1 Моделювання процесу свердлення та точіння багатошарових композитів і аналіз відомих даних	49
3.2 Автоматизований вибір раціональних або оптимальних робочих умов і параметрів процесу різання	51
3.3 Висновки до розділу	67
4 Зношування інструменту при обробці композиційних пластиків у багатосерійному автоматизованому виробництві	68

4.1	Фізичний механізм та характер зношення інструменту при механічній обробці композитів	68
4.2	Технологічний критерій затуплення і обчислення стійкості інструменту при свердленні композиційних матеріалів у багатосерійному автоматизованому виробництві.....	74
4.3	Вплив технологічних параметрів на стійкість інструменту	78
4.4	Висновки до розділу	84
5	Охорона праці під час автоматизованої обробки полімерних композиційних матеріалів	85
5.1	Основні вимоги до охорони праці.....	85
5.2	Вимоги до технологічного обладнання	87
5.3	Вимоги до технологічних процесів.....	94
5.4	Вимоги до розміщення виробничого обладнання і організації робочих місць	101
	Висновки	103
	Перелік джерел посилання.....	104
	Додаток А Демонстраційний матеріал у вигляді презентації	108

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАК, ОДИНИЦЬ І ТЕРМІНІВ

- a і b – напівосі еліпса;
 C_z, C_m – постійні коефіцієнти;
 D_{dam} – максимальний діаметр зони руйнування;
 D_{hole} – номінального діаметру отвору,
 d – діаметр свердла, мм;
 F_a – двомірний критерій розшарування;
 F_{da} – компромісний фактор розшарування;
 F_z – осьова сила, Н;
 f – частота обертання шпинделя, мм/об;
 G – сила поширення тріщини;
 G_a – модулі зсуву, матеріалу волокон (джгутів), МПа;
 h_{dam} – відстань від нижнього краю заготівки;
 G_c – модулі зсуву в'язучого, МПа;
 G_{IC} – критичне значення енергії тріщиноутворення по І-му типу, Дж/м²;
 K_{dam} – коефіцієнт пошкодження;
 S_{dam} – площі руйнування;
 S_{hole} – номінальна площа отвору;
 K_z – сукупність поправочних коефіцієнтів;
 $K_{z\text{h}}, K_{z\varphi}, K_{z\alpha}, K_{z\gamma}$ – поправочний коефіцієнти на зношування по задній поверхні, головний кут, задній та передній кут відповідно;
 K_v – поправочний коефіцієнт на швидкість різання (свердлення) для визначення стійкості інструменту при різанні (свердленні);
 l – довжина фаски зносу поверхні ріжучого інструменту, з урахуванням округлення або довжина тріщини, мм;
 l_{dam} – розмір зони розшарування,
 P_y – рівнодіюча тангенціальна сила різання, Н;
 P_z – рівнодіюча нормальна сила різання, Н;

- E – модуль пружності, МПа;
 E_{11} – модуль пружності односпрямованого КМ, МПа;
 E_{22} – модуль пружності в напрямку перпендикулярно напрямку
 армування, МПа;
 E_a – модуль пружності матеріалу волокон (джгутів), МПа;
 E_c – модуль пружності матеріалу в'язучого, МПа;
 F_{dam} – фактор розшарування;
 R_z – шорсткість, мкм;
 s – подача, мм/об;
 T – кінетична енергія, Дж, або стійкість інструменту, хв.;
 t – глибина різання або товщина заготовки, мм;
 U – енергія пружних деформацій, Дж;
 v – швидкість різання, м/хв.;
 W – робота зовнішніх сил, Дж;
 m, n – постійні
 h – товщина шарів заготовки, мм;
 h_z – зношування по задній поверхні інструменту, мм, приймається у якості
 критерію затуплення інструменту в процесі експлуатації;
 h_{lay} – товщина одиничного шару багатошарового пластику, мм.
 α – задній кут ріжучої крайки інструменту, град або ваговий коефіцієнт;
 β – кут в плані ріжучої крайки інструменту, град або ваговий коефіцієнт;
 γ – передній кут ріжучої крайки інструменту, град.;
 ρ – радіус округлення у вершині інструменту, мм;
 ν – коефіцієнт Пуассона або відносний об'ємний вміст волокон, %;
 ν_a – коефіцієнт Пуассона матеріалу волокон (джгутів);
 ν_c – коефіцієнт Пуассона матеріалу в'язучого;
 ν_{12}, ν_{21} – відповідно коефіцієнти Пуассону напрямках 1 і 2;
 σ_t – границя текучості, МПа;
 σ_x – нормальна напружка, МПа;

σ_y – нормальна напруга, МПа;

τ_{xy} – дотична напруга, МПа;

ВПКМ – високоміцні полімерні композиційні матеріали;

КІН – коефіцієнт інтенсивності напруги;

КМ – композиційний матеріал;

ЛМР – лінійна механіка руйнування;

НДС – напружено-деформований стан;

ВСТУП

На теперішній час композиційні матеріали (КМ) знаходять все більше застосування у космічній та ракетній техніці, авіа-, судо-, автомобілебудуванні, спорті і побуті, та у багатьох інших галузях промисловості.

Застосування КМ дозволяє, з одного боку, поліпшити техніко-економічні показники машин (зниження маси, скорочення трудомісткості виготовлення і т.п.), а з іншого боку – істотно заощаджувати чорні та кольорові метали. Спостерігається чітка тенденція збільшення випуску і застосування різних КМ.

КМ відрізняються як своїми фізико-механічними властивостями, так і областями їх застосування. До композиційних відносяться матеріали, що призначені для виготовлення деталей і конструкцій, неодмінним компонентом яких є який-небудь полімер. У період формування виробів полімер знаходиться в пластичному стані, а при експлуатації – у кристалічному або склоподібному.

Серед багатьох видів композитів особливе місце займають багат шарові полімерні матеріали, до яких можна віднести матеріали, що мають межу міцності при розтягуванні більш 750 – 800 МПа. До них належать, головним чином матеріали, у яких елементами армування є скляні, полімерні, борні і вуглецеві волокна. Вони займають важливе місце серед синтетичних матеріалів, що пояснюється їхньою високою механічною міцністю, гарними електроізоляційними властивостями і можливістю виготовлення з них широкого асортименту виробів на порівняно простому обладнанні при невеликих витратах праці.

В аерокосмічній галузі давно намітилися тенденції до збільшення обсягу використання композитів і титанових сплавів через їх високі механічні характеристики, які можуть бути гарантовані при високих навантаженнях, що мають місце при експлуатації військових і цивільних літаків. У цей час з'єднання болтами і клепка залишаються основними методами для зборки композитних обшивок із металевим або композитним каркасом. При цьому дуже важливим фактором, що впливає на ресурс з'єднання, є якість виконання отворів під

кріпильні елементи. Щоб мінімізувати погрішності установки, композитні панелі і елементи каркаса, як правило, свердлять спільно в пакеті.

При обробці неметалічних матеріалів, є ряд характерних рис, які необхідно враховувати при розробці технологічного процесу виготовлення з них деталей. Досвід показує, що якщо ці особливості не враховуються, то це призводить до поганої якості і низької продуктивності обробки деталей із КМ, до невиправдано великих витрат різального інструменту. З іншого боку механічна обробка композитів є дуже шкідливим виробництвом за рахунок мілко дисперсної пиловидної стружки яка утворюється під час руйнування наповнювача та сполучного.

Низька теплопровідність композиційних матеріалів викликає перегрів ріжучого інструменту і швидке його затуплення, що може служити причиною термічної деструкції (обвуглювання) і механічного руйнування оброблюваного матеріалу в зоні різання. Щоб уникнути термічної деструкції і механічного руйнування матеріалу при обробці різанням необхідно змінити геометричні параметри заточення ріжучого інструменту в порівнянні з нормалізованим.

У зв'язку з відмінністю фізико-механічних властивостей композитів у кожному окремому випадку необхідний індивідуальний вибір оптимальних режимів різання матеріалу і геометричних параметрів інструмента, у зв'язку з чим тема атестаційної роботи є актуальною.

У наданій атестаційній роботі було розглянуто такі основні положення дослідження процесу механічної обробки композиційних матеріалів.

Об'єкт дослідження – механічна обробка композиційних матеріалів свердлінням; особливості зношування інструменту при свердленні і прогнозування якості обробленої поверхні; вплив типу інструменту і технологічних параметрів обробки на показники зношування і якості поверхні.

Предмет дослідження – побудова математичної моделі стійкості інструмента для забезпечення гарантованої працездатності при зміні вхідних даних обробки.

Мета магістерської атестаційної роботи – прогнозування інтенсивності зношування і характеру появи дефектів поверхні отворів при свердленні різними типами інструментів для побудови системи автоматизованого вибору параметрів обробки.

Методи дослідження – методи математичного аналізу, методи ідентифікації, методи оптимізації, регресійний аналіз, елементи механіки руйнування та теорії різання матеріалів.

Головна ідея роботи полягає в розробці теоретичних і практичних обґрунтувань для моделювання зношування інструменту при свердленні різними типами інструментів, систематизація даних по інтенсивності зношування свердел з різними геометричними параметрами і облік цих даних в моделі.

На базі проведеного дослідження обрані математичні моделі залежності усіх параметрів, що впливають. Для цього використано методи регресійного аналізу, зроблено постановку повного факторного експерименту для трьох параметрів, які найбільше впливають на функціонування та дозволяють гарантовано змінювати технологічні параметри обробки для забезпечення стійкості інструменту.

Дослідження процесу точіння та свердління КМ є актуальною задачею сучасного машинобудування. Розгляданню деяких проблем дослідження впливу технологічних параметрів на стійкість інструменту при обробці композиційних матеріалів при свердлінні та точінні композиційних матеріалів присвячений даний дипломний проект.

Робота виконана згідно [1,2]. Результати роботи опубліковані в [3].

1 АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ ТА ОСОБЛИВОСТІ АВТОМАТИЗОВАНОЇ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Механічна обробка необхідна для досягнення необхідної точності і якості поверхні, отримання складних конфігурацій виробів. Це цілком виправдано, особливо при порівняно невеликих обсягах виробництва ідентичних виробів, коли розробка виготовлення складних форм, виявляється економічно не вигідна. Вона необхідна для розрізання виробів до необхідних розмірів, а також для отримання зразків, за допомогою яких визначаються фізико-механічні характеристики готових виробів, наприклад оболонок з ВКПМ.

Свердління – одна з найбільш поширених операцій механічної обробки ВКПМ. У плитах і пластинах – це свердління різних отворів під кріпильні елементи і для інших експлуатаційних цілей; в оболонках – це головним чином свердління великої кількості наскрізних і глухих отворів для штифтів – болтового з'єднання оболонки з іншими елементами конструкції. Основні вимоги до отворів: точність у межах 10-13 квалітетів, параметр шорсткості поверхні $R_z = 10 \div 40$ мкм. При необхідності отримань отворів більш високої точності, а головним чином більш високої якості їх поверхонь, іноді застосовується операція розгортання.

Механічна обробка деталей з ВПКМ, викликає наступні проблеми:

- складність отримання високої якості обробленої поверхні (відсутності сколів і розшарувань, необхідної шорсткості), через яскраво виражену анізотропію властивостей і низький адгезійний зв'язок наповнювача зі зв'язуючи ВПКМ;
- низька теплопровідність матеріалу, яка обумовить поганий відвід теплоти із зони різання;
- інтенсивну абразивну дію твердого наповнювача призводять до низької стійкості інструменту;
- низька продуктивність процесу, через невисокі швидкостей різання, тому що не допустимо застосування мастильна-охолоджувальної рідини на

водній основі (МОР), внаслідок вологовбирних властивостей ВПКМ;

- виділення летких токсичних часток ВПКМ при обробці.

У той же час, дослідження механічного поводження елементів структури з урахуванням концентрації неоднорідних у межах кожного з них полів напруг і деформацій дозволяє не тільки безпосередньо визначати ефективні властивості, але і подає велику інформацію про характер і особливості деформування і руйнування матеріалів у залежності від реальної структури композитів і їхніх компонентів.

1.1 Багат шарові композиційні матеріали, їх властивості та особливості обробки

Композиційні матеріали складаються з двох компонентів, об'єднаних різними способами в моноліт при збереженні їх індивідуальних особливостей.

Ознаки матеріалу:

- склад, форма і розподіл компонентів визначені заздалегідь;
- складаються з двох компонентів і більше різного хімічного складу, розділених кордоном;
- має властивості, відмінними від властивостей компонентів, взятих окремо;
- однорідний в макромасштабі і неоднорідний у мікромасштабі;
- не зустрічається в природі, створений людиною.

Компоненти матеріалу різні за геометричній ознакою. Матрицею називають компонент, який володіє безперервністю по всьому об'єму.

У композиційних матеріалах, як матриця використовуються метали і їхні сплави, полімери органічні і неорганічні, керамічні матеріали. Властивості залежать від фізико-хімічних властивостей компонентів і міцності зв'язку між ними. Компоненти для композиційного матеріалу вибирають з властивостями, що відрізняються один від одного. Такі матеріали з високою питомою жорсткістю і питомою міцністю.

Поширені композиційні матеріали з нуль мірними наповнювачами – металева матриця з металу або сплаву. Композиційні матеріали з рівномірним розподілом часток кітеля відрізняються ізотропною властивостей. Композиції, армовані дисперсними частками отримують методами порошкової металургії.

Композиційні матеріали з алюмінієвої матрицею на основі алюмінію зміцнюються частинками Al_2O_3 , отримані методом пресування алюмінієвої пудри з наступним спіканням (САП). Сплави САП задовільно деформуються в гарячому стані, а сплави САП-1 – в холодному. САП легко обробляються різанням, задовільно зварюються аргонодугового і контактним зварюванням. З САП випускають напівфабрикати у вигляді листів, профілів, труб, фольги.

Композиційні матеріали з нікелевої матрицею. Зміцнюючи компонентом є токсичні частки діоксиду торію (ThO_2) або діоксиду гафнію (HfO_2). Ці матеріали позначаються ВДУ-1 і ВДУ-2 відповідно. Матеріали ВДУ-1 і ВДУ-2 пластичні, деформуються в широкому інтервалі температур різними методами (кування, штампування, осаду, глибока витяжка). Для з'єднання деталей із сплавів типу ВДУ застосовують високотемпературну пайку або дифузійну зварку для запобігання розплавлення. Сплави ВДУ-2 застосовують в авіаційному двигуну будувannya.

Композиційні матеріали з одновимірними наповнювачами зміцнюються за допомогою одновимірних елементів у формі ниткоподібних кристалів, волокон (дроту). Волокна скріплюються матрицею в єдиний моноліт. Матриця служить для захисту зміцнюючого волокна від пошкоджень, є середовищем, що передає навантаження на волокна, і перерозподіляє напруги у разі розриву окремих волокон.

Композиційні матеріали на нікелевої матриці. Армуванню піддають жароміцні нікелеві сплави, щоб збільшити час їх роботи і робочу температуру до 1100-1200 °С. Для армування нікелевих сплавів застосовують зміцнювані: ниткоподібні кристали, дроту тугоплавких металів і сплавів, волокна вуглецю і карбїду кремнію.

Евтектичні композиційні матеріали – сплави евтектичного складу. У них фазою, що зміцнює є орієнтовані кристали, які утворюються при спрямованій кристалізації. Евтектичні композиційні матеріали на основі нікелю – це жароміцні матеріали, використовуються в ракетній і космічній техніці. Пластинчасті композиції, що містять об'ємну частку зміцнюючі фази більш 33-35 %, крихкі. До пластичним відносяться композиції на основі нікелю з вмістом об'ємної частки волокон 3-15% з карбідів танталу, ніобію, гафнію.

Композиційні матеріали на неметалевої основі, у яких в якості матриці використовують затверділі епоксидні, поліефірні, фенольні смоли.

Композити, армовані однотипними волокнами, називаються зміцнюючими волокнітами. Композицію, що містить наповнювач у вигляді довгих скло волокон, розташованих орієнтовано окремими пасмами, називають орієнтованим скло волокнітом.

Наповнювач неорієнтованих скловолонитів – коротке волокно. Якщо зміцнювач склотканина, тоді матеріал називають склотекстоліти. Композиційний матеріал, що містить вуглецеве волокно, називають вуглеволокнітом, борне волокно – бороволокніти, органічне волокно – органоволокнітом. Переваги композиційних матеріалів з полімерною матрицею: високі питомі міцні і пружні характеристики; стійкість до впливу агресивних середовищ; хороші антифрикційні і фрикційні властивості поряд з високими теплозахисними і амортизаційними властивостями.

Композиційний матеріал це конструкційний (металевий чи неметалічний) матеріал, у якому мають посилюючі його елементи у виді ниток, волокон або інших включень більш міцного матеріалу. Приклади композиційних матеріалів: пластик, армований борними, вуглецевими, скляними волокнами, джгутами чи тканинами на їхній основі; алюміній, армований нитками сталі, берилію. Комбінуючи об'ємний зміст компонентів, можна одержувати композиційні матеріали з необхідними значеннями міцності, жароміцності, модуля пружності, абразивної стійкості, а також створювати композиції з необхідними магнітними, діелектричними, радіопоглинаючими і іншими спеціальними властивостями.

Часто композиційний матеріал являє собою шарувату структуру, у якій кожен шар армований великим числом паралельних безперервних волокон. Кожен шар можна армувати також неперервними волокнами, зітканими в тканину, яка являє собою вихідну форму, що відповідає по ширині і довжині кінцевому матеріалу. Нерідко волокна сплітають у тривимірні структури.

Композиційні матеріали відрізняються від звичайних сплавів більш високими значеннями тимчасового опору і границі витривалості (на 50 – 10 %), модуля пружності, коефіцієнта твердості (E/γ) і зниженою схильністю до утворення тріщин. Застосування композиційних матеріалів підвищує твердість конструкції при одночасному зниженні її металоемності.

Міцність композиційних (волокнистих) матеріалів визначається властивостями волокон; матриця в основному повинна перерозподіляти напруги між елементами армування. Тому міцність і модуль пружності волокон повинні бути значно більше, ніж міцність і модуль пружності матриці. Тверді волокна армування сприймають напруги, що виникають у композиції при навантаженні, додають їй міцність і твердість у напрямку орієнтації волокон.

Властивості скловолокна залежать також від змісту в його складі лугу; кращі показники у безлужних стеклах алюмоборосілікатного складу.

Неорієнтовані скловолокна містять у якості наповнювача коротке волокно. Це дозволяє пресувати деталі складної форми, з металевою арматурою. Матеріал виходить з ізотопними характеристиками міцності, набагато більш високими, чим у прес-порошків і навіть волокнітів. Представниками такого матеріалу є скловолокніти АГ-4В, а також ДСВ (дозувальні скловолокніти), що застосовують для виготовлення силових електротехнічних деталей, деталей машинобудування (золотники, ущільнення насосів і т.д.). При використанні в якості зв'язки неграничних поліефірів одержують премікси ПСК (пастообразні) і препреги АП і ППМ (на основі скляного мата). Препреги можна застосовувати для великогабаритних виробів простих форм (кузова автомашин, човна, корпусу приладів і т.п.).

Орієнтовані скловолокніти мають наповнювач у виді довгих волокон, що розташовуються орієнтовано окремими пасмами і ретельно склеюються зв'язкою. Це забезпечує більш високу міцність склопластику.

Скловолокніти можуть працювати при температурах від -60 до $200\text{ }^{\circ}\text{C}$, а також у тропічних умовах, витримувати великі інерційні перевантаження. При старінні протягом двох років коефіцієнт старіння $K_C=0,5\div 0,7$. Іонізуючі випромінювання мало впливають на їх механічні й електричні властивості. З них виготовляють деталі високої міцності, з арматурою і різьбою.

Висока енергія зв'язку С-С вуглецевих волокон дозволяє їм зберегти міцність при дуже високих температурах (у нейтральному і відбудовному середовищах до $2200\text{ }^{\circ}\text{C}$), а також при низьких температурах. Від окислювання поверхні волокна охороняють захисними покриттями (піролітичними). На відміну від скляних волокон карбоволокна погано змочуються сполучним (низька поверхнева енергія), тому їх піддають травленню. При цьому збільшується ступінь активування вуглецевих волокон по змісту карбоксильної групи на їхній поверхні. Міжшарова міцність при зрушенні вуглепластиків збільшується в $1,6\text{--}2,5$ рази. Застосовується віскеризація нитковидних кристалів TiO_2 , AlN и Si^3N^4 , що дає збільшення міжшарової твердості в 2 рази і міцності в $2,8$ рази. Застосовуються просторово армовані структури.

Сполучниками служать синтетичні полімери (полімерні карбоволокніти); синтетичні полімери, піддані піролізу (коковані карбоволокніти); піролітичний вуглець (піровуглерідні карбоволокніти).

Карбоволокніти відрізняються високим статистичним і динамічним опором втоми, зберігають цю властивість при нормальній і дуже низькій температурі (висока теплопровідність волокна запобігає саморозігріву матеріалу за рахунок внутрішнього тертя). Вони водо- і хімічно стійкі. Після впливу на повітрі рентгенівського випромінювання міцність на гнуття і модуль пружності майже не змінюються.

Бороволокніти являють собою композиції з полімерного сполучника і наповнювача – борних волокон. Вони відрізняються високою міцністю при

стиску, зрушенні і зрізі, низькою повзучістю, високими твердістю і модулем пружності, теплопровідністю й електропровідністю. Ячейкова мікроструктура борних волокон забезпечує високу міцність при зрушенні на границі розподілу з матрицею.

Крім неперервного борного волокна застосовують комплексні бороскловолоконіти, у яких кілька паралельних борних волокон обплітаються склониткою, що надає формостійкість. Застосування боросклониток полегшує технологічний процес виготовлення матеріалу.

В якості матриці для одержання бороволокнитів використовують модифіковані епоксидні і поліамідні сполучники.

Бороволокніти мають високі опори втоми, вони стійкі до впливу радіації, води, органічних розчинників і паливо змащувальних матеріалів.

Для широкого впровадження композиційних матеріалів у машинобудуванні необхідно навчитися їх обробляти із заданою продуктивністю, і необхідною якістю. Цього можна досягти за рахунок грамотного підбора інструментального матеріалу, СОТС і раціональних режимів різання. Раціональні режими різання можна установити не тільки емпірично, проводячи велику кількість дорогих експериментів, але і розрахувати їх використовуючи математичні моделі.

1.2 Формулювання актуальних питань, аналіз літературних джерел та відомих даних по проблемі автоматизованої обробки композиційних матеріалів

Свердлення полімерних композиційних матеріалів (ВПКМ) є найбільш розповсюдженною операцією їх механічної обробки. У більшості випадків ця операція проводиться твердосплавними або алмазними свердлами. У процесі обробки зношування інструменту і якість отворів значною мірою залежить від марки ВПКМ, його армування та інше. Вимоги до якості отворів, як правило, що не дуже високі, і відповідають $R_z \geq 20$ мкм. Фізична сутність процесу різання при свердлінні ВПКМ в літературі не освітлена, а рекомендації з вибору умов

свердління наведено без урахування стійкості інструменту та якості обробки. Розрахункова залежність для швидкості різання встановлена при свердлінні лише деяких видів вуглепластиків. В силу того, що ВПКМ неоднорідні та анізотропні їх свердлення дуже специфічне і у більшості випадків, супроводжується наявністю пошкодження навкруги отворів. До дефектів обробки також відносять розшарування між шарами, виривання джгутів або ниток армування, утворення міжшарових тріщин або температурні пошкодження (прожоги). Наявність цих дефектів впливає не тільки на сучасну спроможність, але і на надійність виробу в цілому. Одним з найбільш впливовішим фактором у появі дефектів є зношування інструменту (свердел) за рахунок абразивної дії твердих складових ВПКМ.

Ряд авторів після проведення багатьох експериментів по різанню одне спрямованих вугле- та склопластиків прийшли до висновку, що механічна обробка таких матеріалів є послідовність руйнувань, що утворює стружку надлому. При цьому процес руйнування йде практично без будь-яких пластичних деформацій і має крихкий характер.

Безліч дослідників працювало над оброблюваністю полімерних композитів на основі вдосконалення вершини свердла [4-11]. В роботі [10] були виконані експериментальні дослідження з свердління епоксидних вуглепластиків і був зроблений висновок про те, що висока швидкість і маленька подача головні чинники якісної обробки і гарної якості поверхні.

Збільшення швидкості різання дає збільшення продуктивності обробки. Інша можлива вигода збільшення швидкості різання полягає в зменшенні сили різання. Збільшення швидкості різання приводить до зменшення осьової сили і, як наслідок, до зменшення ступеня розшарування поверхні. Свердління композитів з високою швидкістю було проаналізовано в роботах [12-14]. Було зроблено висновок про те, що головною проблемою для роботи з високою швидкістю є знос свердла. Чотирьох, восьмигранні, з перевернутим конусом і свердла зі спеціальною геометрією ширше використовуються при проектуванні інструменту для свердління композитів [9, 15-18]. Порівняння роботи свердел різної геометрії показало, що свердло В.І. Жирова працює з найменшим

значенням осьової сили (порядку 20 Н) на високих швидкостях в порівнянні з роботою на традиційних швидкостях (порядку 50 Н) і дає більш високу точність отворів.

Для інтенсифікації процесу свердлення та одержання гарантованої якості отворів були запропоновані різні засоби. По-перш усього, ці заходи пов'язані з геометрією інструменту. Кут між ріжучою крайкою та віссю інструменту був 118° для головних ріжучих крайок и малий головний передній кут. До то ж поперечна ріжуча крайка повинна бути, як можна менша. Рекомендовано попереднє за свердлення для нейтралізації ефекту поперечної крайки.

У зв'язку з цим вдосконалення технологічних процесів механічної обробітки ВПКМ, що призводять до зниження собівартості обробки та підвищення якості виготовлення виробів машинобудівного виробництва, є вельми актуальним завданням.

Використовуючи матеріали знімання (фотографування) обробленої поверхні волокнистого склопластику, що надані із згоди з автором з роботи [4], сформулюємо декілька положень, що характеризують процес руйнування при контактній взаємодії ріжучого клину і армованого склопластику.

Аналізуючи вид обробленої поверхні, що надано на рис.1.1 можна зробити висновок про те, що при підрізанні матеріалу склопластику сполучник між волокнами (джгутами) викришується або настільки розтворюється, що механічного опору не оказує. Використовуючи це спостереження можна зробити висновок, що при різанні склопластику його місцевий опір визначається розвитком тріщини в джгутах (волокнах).

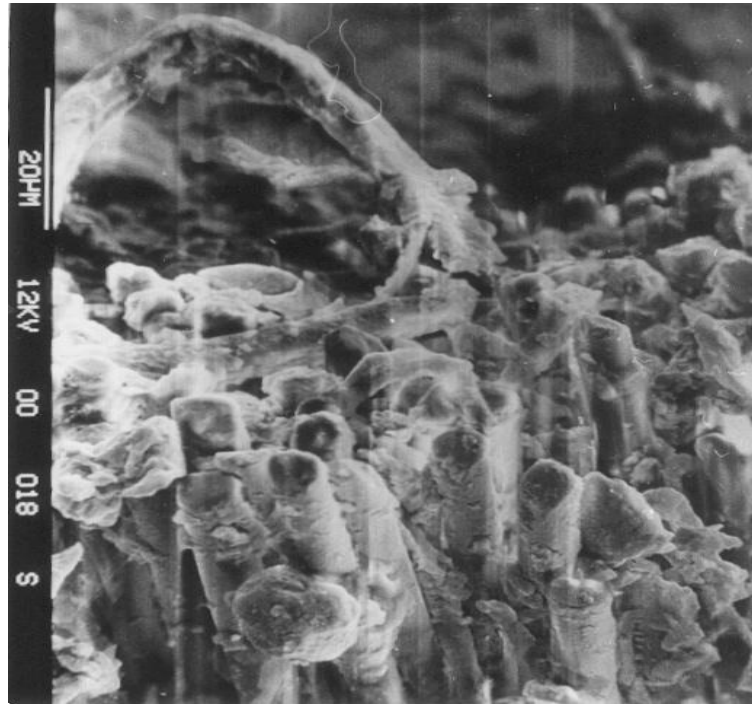


Рисунок 1.1 – Оброблена поверхня (різання поперек волокон) [4]

Другий важливий висновок міститься у тому, що пружне відбиття або поновлення шару, що обробляється це є наслідок вдавлювання руйнованих джгутів (волокон) в матрицю (рис. 1.2) . При цьому знос по задній поверхні (риски і смуги зносу) є наслідком наїзду і вдавлювання гострих і нерівномірно руйнованих по висоті джгутів (волокон) в матрицю.

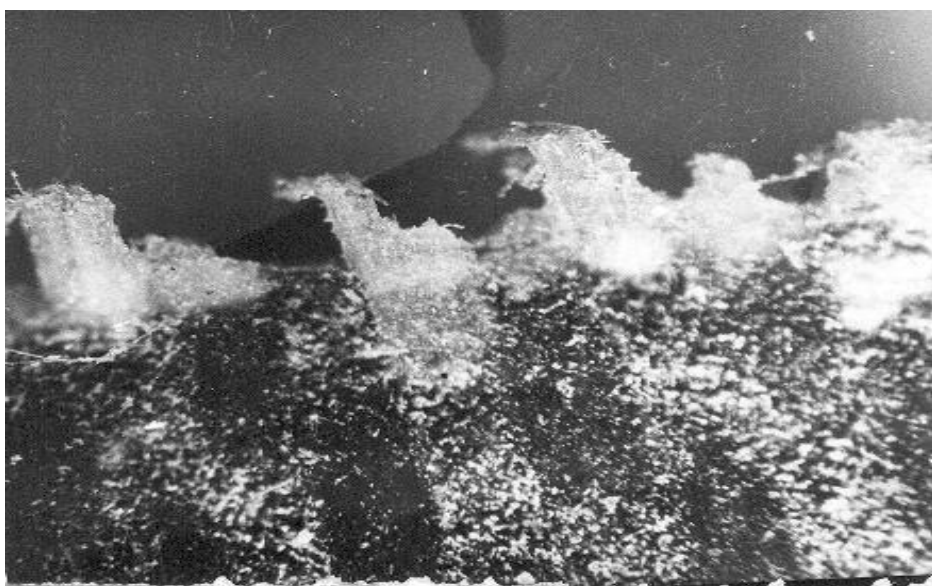


Рисунок 1.2 – Руйнування джгутів склопластику під кутом [4]

З аналізу рис.1.2 можна сформулювати такі висновки. Руйнування джгутів (волокон) внаслідок руху магістральної тріщини (макротріщини) завжди має місце під деяким кутом до напрямку армування і носить змішаний характер зсуву-відриву. По всій видимості, можна у якості гіпотези прийняти той факт, що руйнування одного волокна (джгута) у волокнистому склопластику, не наводить за собою негайного розриву сусіднього у тій же самій площині поперечного січення.

Свердлення полімерних композиційних матеріалів (ПКМ) є найбільш розповсюдженою операцією їх механічної обробки. У більшості випадків ця операція проводиться твердосплавними або алмазними свердлами. В процесі обробки зношування інструменту і якість отворів значною мірою залежать від марки ПКМ, його армування та інше. Вимоги до якості отворів, як правило, не дуже високі, і відповідають $R_z \geq 20$ мкм.

В силу того, що ПКМ неоднорідні та анізотропні їх свердлення дуже специфічне і, у більшості випадків, супроводжується наявністю пошкоджень навкруги отворів. До дефектів обробки також відносять розшарування між шарами, виривання джгутів або ниток армування, утворення міжшарових тріщин або температурні ушкодження (прижоги). Наявність цих дефектів впливає не тільки на несучу спроможність, але і на надійність виробу в цілому. Одним з найбільш важливим і впливовішим фактором у появі дефектів є зношування інструменту (свердел) за рахунок абразивної дії твердих складових ПКМ.

Ряд авторів після проведення багатьох експериментів по різанню одне спрямованих вугле- та склопластиків прийшли до висновку, що механічна обробка таких матеріалів є послідовність руйнувань, що утворює стружку надлому. При цьому процес руйнування йде практично без будь-яких пластичних деформацій і має крихкий характер.

Для інтенсифікації процесу свердлення та одержання гарантованої якості отворів були запропоновані різні засоби. По-перш усього, ці заходи пов'язані з геометрією інструменту. Так в роботі [19] було запропоновано використати від 3 до 6 ріжучих крайок для того, щоби збільшити довжину контакту між

інструментом та матеріалом. Кут між ріжучою крайкою та віссю інструменту був 118° для головних ріжучих крайок и малий головний передній кут. До то ж поперечна ріжуча крайка повинна бути як можна менш. Рекомендовано попереднє за свердлення для нейтралізації ефекту поперечної крайки.

Другими мірами що можуть привести до зниження розшарування, це комплекс дій по регулюванню подачею. Цей комплекс мір знайшов широке застосування у свердлильних верстатах з ЧПУ. Наприклад у [20] впроваджено метод спіральної подачі, що приводить до зниження розшарування та ворсистості у виробках. Так у [21] запропоновано керування осьовою силою на основі нейронних сітей для мінімізації розшарування шліхом керування подачею. В роботі [22] описано орбітальний метод свердлення, де отвори обробляються уздовж осі і радіально. Цей метод усуває постійний центр інструменту і, таким чином, зменшує осьову силу.

Базуючись на експериментальному огляді можна зробити висновок, що під тип свердла можна знайти достатньо високу подачу при гарантованій якості обробки отвору. В роботі [23] дослідили зміни величини осьової сили за час свердлення. Було запропоновано математичну модель для обчислення критичної сили для того, щоби здійснювати вибір осьової сили безпосередньо під порогом критичної сили.

Автором [24] були проведені дослідження по впливу наявності попереднього отвору на зменшення розшарування при використанні трубчатих свердел. Попередній отвір виключає ефект поперечної ріжучої крайки і значно зменшує розшарування. Відношення попереднього отвору до діаметру є параметр управління свердленням. Було обґрунтовано оптимальне співвідношення 0,85 для використання найбільш високої подачі 0,012 мм/об.

В роботі [25] автори порівняли дію трьох різних типів свердел: карбід-вольфрамових, нітрид титану та алмазоподібний вуглець, які були з покриттям і без нього. Використання покриття не дало будь-яких суттєвих результатів при обробці вуглець-епоксидного ламінату ні по зниженню дефектів, ні по зносу інструменту.

Головною проблемою при свердленні шарових композиційних матеріалів є усунення дефектів пов'язаних з розшаруванням (лушчінням) матеріалу на вході свердла і витиснення (розшарування) на виході. У рішенні цієї проблеми фундаментальним є формулювання механізму руйнування і побудова його математичної моделі.

Найбільше розповсюдження одержала кількісна модель, що базується на руйнуванні розшаровуванням, яка була запроваджена Davim і Hocheng [26,27]. Розглядалися два різних механізми, які відповідають розшаруванню у витисненні на виході і шелущінню на вході. Ця модель пов'язана з визначенням пошкодження шарового матеріалу з параметрами свердлення та властивостями композиційного матеріалу, тобто з критичною силою яка забезпечує початок руху тріщини для виходу і виходу.

Фізичні процеси на вході свердла, тобто при навантаженні, пов'язані з силовою дією інструменту, місцевою контактною взаємодією і контактним руйнуванням, зносом і частковим розігрівом інструменту. Для крихких матеріалів це зародження і зростання радіальних та кільцевих тріщин, їх взаємодія і вихід на вільну поверхню. При подальшому навантаженні матеріал шарів спірально закручується, що викликає розшарування, розділ шарів та їх руйнування. Інтенсивність цього явища найбільш сильно залежить від подачі та зношування свердла.

Руйнування на виході свердла є наслідком зародження та зростання міжшарових тріщин. Цей процес визначається фізичними властивостями наповнювача та полімеру і адгезійним зв'язком між ними. Фактично цей дефект є наслідком силової дії (за рахунок осьової сили) інструменту.

1.3 Висновки до розділу

Механічна обробка композиційних матеріалів на теперішній час поширюється як наслідок загального поширення застосування композитів у промисловості і народному хазяйстві. Інтенсифікація та ускладнення обробки

потребує наявності не тільки верстатів з ЧПУ але і, поперед усього, технології їх обробки, що гарантує високу якість поверхні, стійкість інструменту та дешеву собівартість процесу.

Поява нових видів композитів та удосконалення вже відомих підвищило попит на дослідження таких операцій як свердлення отворів, що гарантує тільки один прохід без утворення задирок та розпушування посилювача. Тобто має місце потреба в розробці технологічних процесів і операцій без зачисних і чистових проходів. Це особливо актуально у автоматизованому виробництві, розробка і впровадження таких технологій має високу практичну цінність.

2 МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ОСНОВНИХ ТЕОРЕТИЧНИХ ПОЛОЖЕНЬ ТА ФІЗИЧНИХ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТІВ

2.1 Види, типи та геометричні параметри інструменту, і його особливості при різання різних типів композиційних пластиків

Геометричні параметри свердла дуже впливають на точність і якість обробленої поверхні, стійкість і міцність інструмента, що визначають зусилля різання і деформацію. Вибір оптимальних величин має велике практичне значення. Ця обставина ускладнює вибір геометричних параметрів і підбор такої комбінації кутів свердла, що дозволяє забезпечити продуктивну обробку при високій стійкості інструмента, одержати гарну якість і необхідну точність розміру діаметра отвору.

Досліджено головний задній α і передній γ кути, що впливають головним чином на стійкість свердла, і кут при вершині свердла 2φ , що визначає якість просвердлених отворів в основному на вході і виході свердла. Визначення оптимальних значень цих кутів проводили методом багатofакторного експерименту при досить широкому діапазоні зміни параметрів. В результаті досліджень і обробки експериментальних даних одержані такі значення геометричних параметрів: $\alpha=10-30^\circ$, $\gamma=0-20^\circ$, $2\varphi=90-120^\circ$.

Ці експерименти були проведені при свердлінні наскрізних отворів. При свердлінні глухих отворів досліджені лише значення кутів α і γ тому що кут 2φ у цьому випадку повинен бути дорівнює 180° .

Слід зазначити, що одержання кута $2\varphi=180^\circ$ на стандартних свердлах пов'язане з необхідністю знімання великого обсягу ріжучої частини свердла, що приводить до значного збільшення часу заточення свердла і невиправданій витраті інструментального матеріалу. Доцільно робити свердління глухих отворів кінцевими шпонковими фрезами. Експерименти показали, що застосування таких фрез збільшує точність форми отворів. Так, при свердлінні глухих отворів

свердлами відзначена наявність зворотної конусності отворів, що не виявляється при контролі калібрами і є прихованим браком. При свердлінні шпонковими фрезами зворотна конусність отворів відсутня. Це пояснюється різними величинами радіального биття свердла і фрези. Так, радіальне биття шпонкових фрез, обмірюване у торця, не повинне перевищувати 0,02 мм, у той же час радіальне биття, що допускається, у свердла навіть точного виконання не повинне перевищувати 0,12–0,16 мм.

Рекомендовані форми заточки ріжучої частини;

- свердла з швидкорізальних сталей приведені на рис. 2.1 – 2.3;
- твердосплавні свердла приведені на рис. 2.4 – 2.6.

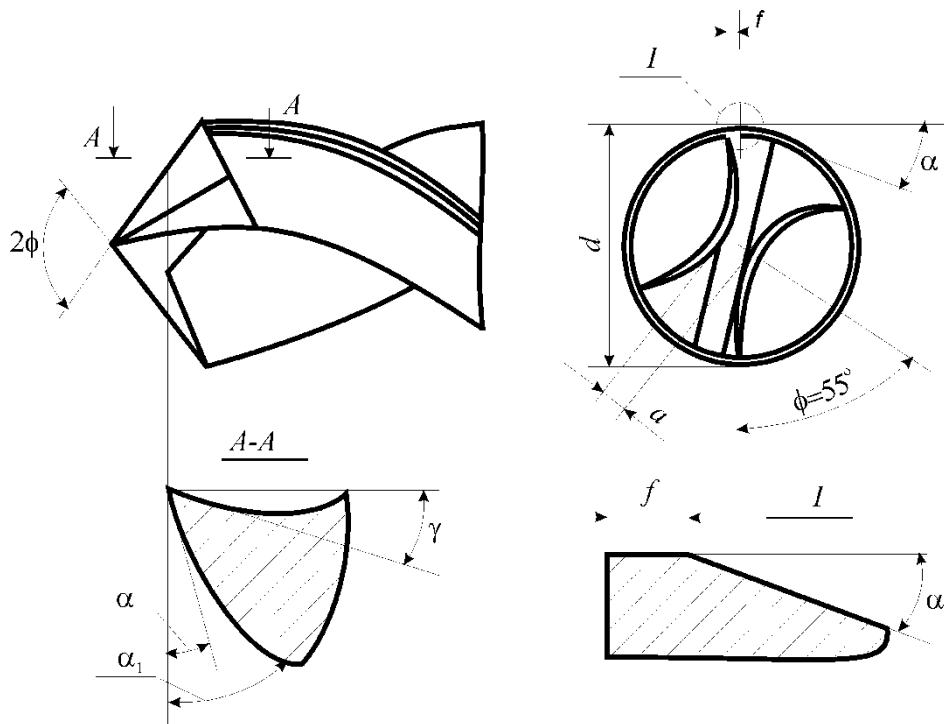


Рисунок 2.1 – Форма заточки ріжучої частини і конструкція свердла з швидкорізальної сталі: спіральна форма з нормальною заточкою [5]

При свердлінні наскрізних отворів у БПМ істотне значення має несиметричність заточення δ , обумовлена різницею довжин головних ріжучих крайок. Несиметричність заточення впливає на розбивання отвору. Досвід показує, що оптимальне значення $\delta=0,1-0,2$ мм. Для зменшення зношування

свердлів і поліпшення умов сходу стружки гвинтові канавки свердлів рекомендується полірувати.

При збільшенні глибини оброблюваного отвору кут при вершині свердлів варто збільшити до $2\phi=70-90^\circ$. Стружка при цьому легше переміщається по канавках свердла, здатність ріжучої частини відводити тепло зростає, збільшується стійкість свердла. Свердла з кутами $2\phi=70-90^\circ$ добре зарекомендували себе при свердленні отворів у заготівлях з багатьох марок композитів, і їх застосовують при обробці як наскрізних, так і глухих отворів.

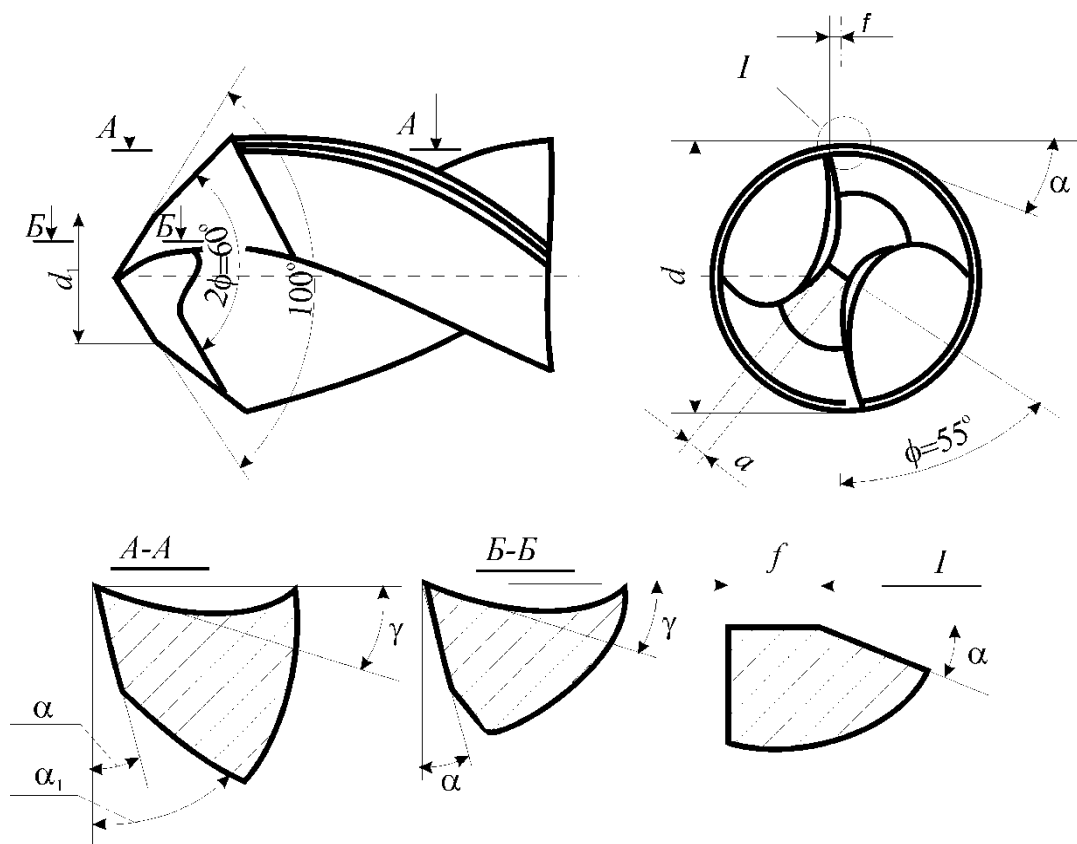


Рисунок 2.2 – Форма заточки ріжучої частини і конструкція свердла з швидкоріжучої сталі: спіральна форма з подвійною заточкою [5]

З метою підвищення стійкості швидкорізальних свердлів при обробці реактопластів застосовують подвійне заточення їхньої ріжучої частини з кутами $2\phi=35-70^\circ$ і $2\phi=120^\circ$.

При свердленні отворів малого діаметра (0,4-3 мм) рекомендується застосовувати свердла з кутами при вершині $2\phi=130-165^\circ$. Збільшений кут при вершині поліпшує утворення вихід стружки, умови її відводу по гвинтових канавках.

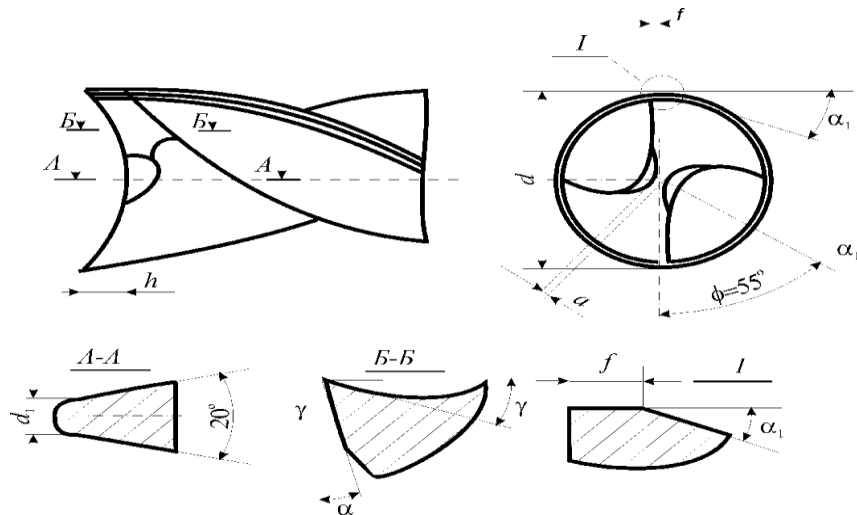


Рисунок 2.3 – Форма заточки ріжучої частини і конструкція свердла з швидкоріжучої сталі: спіральна форма ріжучої частини з ріжучими кромками, що підрізають [5]

Задні кути свердлів повинні бути по можливості більшими, щоб ріжучий клин залишався при цьому досить міцним і відводив теплоту так, щоб вона не концентрувалася, на ріжучих крайках. Значення задніх кутів, що рекомендують для свердлів, коливаються залежно від марки оброблюваного матеріалу і форми заточення в межах $\alpha=14-30^\circ$ для реактопластів і $\alpha=8-25^\circ$ – для термопластів.

Кут нахилу гвинтових канавок спіральних свердлів ω для обробки пластмас рекомендується збільшувати зі збільшенням діаметра свердла і брати в межах $\omega=8-20^\circ$.

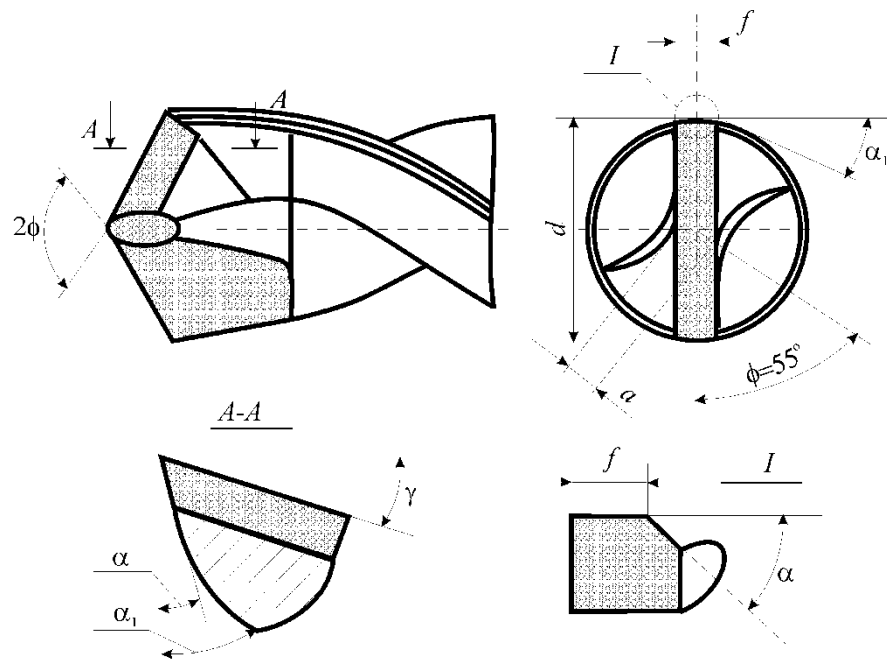


Рисунок 2.4 – Форма заточки ріжучої частини і конструкція свердла з твердого сплаву: спіральна форма ріжучої частини з нормальною заточкою [5]

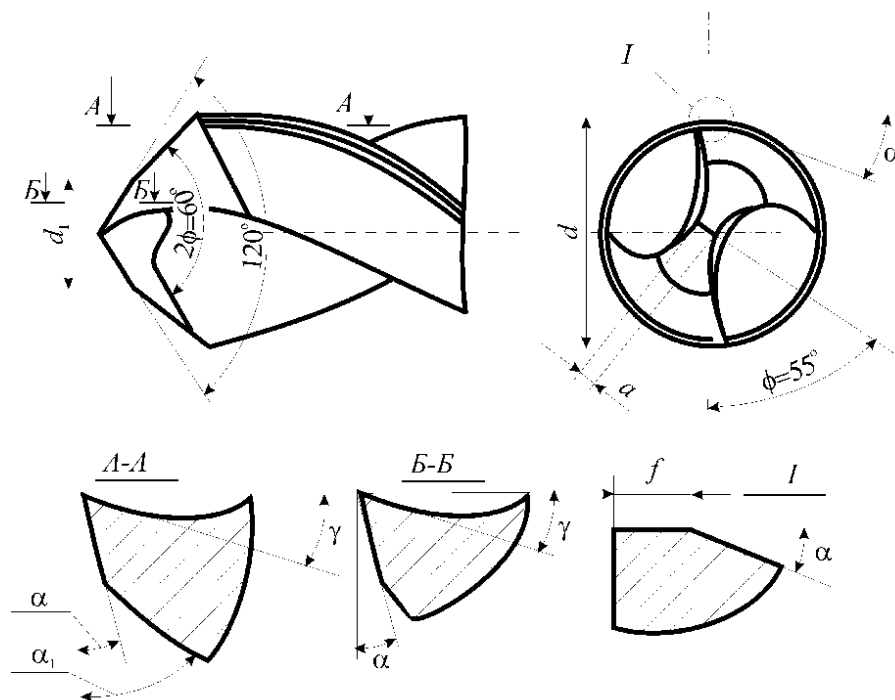


Рисунок 2.5 – Форма заточки ріжучої частини і конструкція свердла з твердого сплаву: спіральна форма ріжучої частини з подвійною заточкою [5]

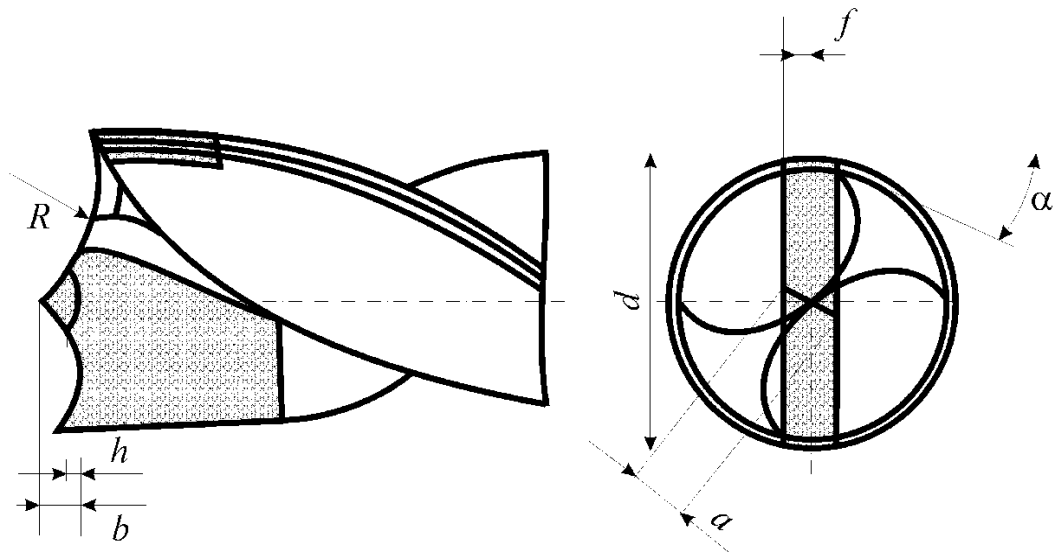


Рисунок 2.6 – Форма заточки ріжучої частини і конструкція свердла з твердого сплаву: спіральна форма ріжучої частини [5]

2.2 Визначення основних геометричних параметрів інструментів

Щоб виявити конструкцію свердла, найбільш придатну для обробки склопластиків, виявилось необхідним встановити вплив на стійкість інструмента і якість обробки отворів кута нахилу стружечної канавки (ω). Для проведення дослідів були виготовлені спеціальні свердла зі сталі марки P18 з кутом ω в 10, 15, 20 й 45° .

При обробці металів збільшення ω до певного значення (приблизно до $35 - 45^\circ$) викликає інтенсивне зниження усадки стружки і роботи деформації, що пояснюється ростом кута ω . Відповідно знижуються M_c – крутний момент і P_o – осьова сила. Видимо, інтенсивність наростання зношування в часі зі збільшенням кута ω до зазначених меж також повинна зменшуватися.

При встановленні оптимальної величини кута ω для обробки склопластиків всі випробовувані в процесі експерименту свердла мали однакові (при роботі по кожному склопластику) кути при вершині і підточування по передній грані. Як відзначалося вище, підточування виконувалося з метою одержання певного переднього кута в периферії свердла. Таким чином, свердла відрізнялися один від

одного величиною кута нахилу канавки, а отже, геометрією циліндричної частини.

Особливість геометричних параметрів свердлів полягає в тому, що вони впливають не тільки на шорсткість і якість обробленої поверхні, здатність виводити стружку і протистояти зношуванню, але і на діаметр отриманого отвору, тобто на його точність. Ця обставина ускладнює вибір геометричних параметрів і підбір такої комбінації кутів свердла, що дозволяє забезпечити продуктивну обробку при високій стійкості інструмента, одержати гарну якість і необхідну точність розміру діаметра отвору.

Найбільший вплив на продуктивність і стійкість свердла справляє кут при вершині. При значеннях кутів при вершині $2\varphi=30-60^\circ$ сила подачі (осьова складова) мінімальна, а крутний момент максимальний. Тому свердла з такими кутами застосовують для свердління наскрізних отворів глибиною до $(2 \div 2,5) \cdot D$ (де D – діаметр свердла), коли через короткочасну роботу свердла температура його нагрівання невелика, а стружка усувається з канавок після свердління кожного отвору.

При збільшенні глибини оброблюваного отвору, кут при вершині свердлів варто збільшити до $2\varphi=70-90^\circ$. Стружка при цьому легше переміщується по канавках свердла, здатність ріжучої частини відводити тепло зростає, збільшується і стійкість свердла. Свердла з кутами $2\varphi=70-90^\circ$ гарні при свердленні отворів у заготівлях з багатьох марок пластмас; їх застосовують при обробці як наскрізних, так і глухих отворів.

З метою підвищення стійкості швидкорізальних свердлів при обробці реактопластів застосовують подвійне заточення їхньої ріжучої частини з кутами $2\varphi_0=35-70^\circ$ і $2\varphi=120^\circ$.

При свердленні отворів малого діаметра (0,4–3 мм) рекомендується застосовувати свердла з кутами при вершині $2\varphi=130-165^\circ$. Збільшений кут при вершині поліпшує утворення і вихід стружки, умови її відводу по гвинтових канавках.

Задні кути свердлів повинні бути по можливості більшими, але щоб ріжучий клин залишався при цьому досить міцним і відводив теплоту так, щоб вона не концентрувалася на ріжучих крайках. Рекомендовані значення задніх кутів свердлів коливаються залежно від марки оброблюваного матеріалу і форми заточення в межах $\alpha=14-30^\circ$ для реактопластів і $\alpha=8-25^\circ$ – для термопластів.

2.3 Моделювання факторів силового навантаження та кінематичних складових процесі взаємодії інструменту та матеріалу

Внаслідок низького опору ВКПМ стиску і зрізу при їх механічній обробці потрібно відносно мала сила різання. Досвід показує, що сила різання при обробці ВКПМ більш ніж на порядок менше, ніж сили різання при відповідній обробці металів. У той же час навіть порівняно невисокі значення сили різання робить істотний вплив на точність обробки, особливо оболонок великого розміру, що не володіють достатньо високою жорсткістю. Тому знання сили різання дозволяє правильно призначити геометричні параметри інструменту і оцінити похибку обробки. Крім того, знання сили різання необхідно для розрахунку і конструювання верстатів, інструментів і пристосувань і визначення необхідної потужності обладнання.

Основною особливістю силового взаємодії при різанні ВКПМ є високий рівень сил на задній поверхні інструмента. Так, якщо при обробці металу сила різання на задній поверхні складає 3-5% від загальної сили різання і її значення в практичних і теоретичних розрахунках не враховується, то при обробці ВКПМ сила на задній поверхні складає в середньому, як показали експерименти [4,5] 30–50% і більше від загальної сили різання, а часом і перевершує силу, що діє на передню поверхню. Це відбувається тому, що при обробці ВКПМ є значна зона пружного стиснення оброблюваного матеріалу безпосередньо в зоні ріжучої кромки з подальшим пружним відновленням поверхневого шару після проходження різця, тобто спостерігаються інтенсивні контактні явища на задній поверхні інструмента, навіть гостро заточеного. У початковий момент

інтенсивність зношування інструменту настільки велика, що практично вже в перші хвилини його роботи (а в подальшому тим більше), контакт оброблюваного матеріалу здійснюється вже не по задній поверхні, а вже по фасці зносу, яка не має заднього кута.

Схема сил, що діють в зоні різання при обробці ВКПМ, з урахуванням сил на задній поверхні інструмента, наведена на рис.2.7.

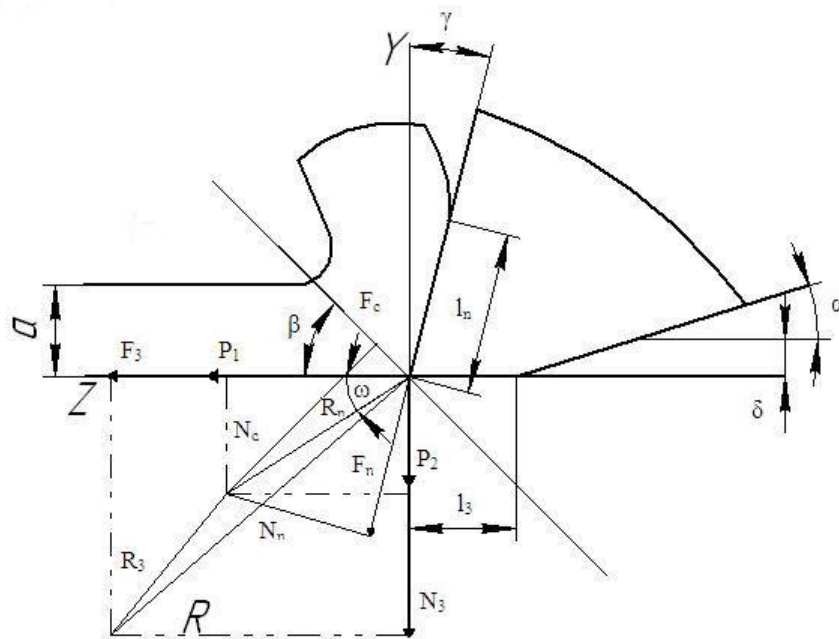


Рисунок 2.7 – Схема сил, що діють в зоні різання [28,29]

На передній і задній поверхнях діють нормальні сили N_n і N_3 і сили тертя F_n і F_3 . У площині зсуву діють нормальна N_c і дотична F_c сили. Рівнодійна сила на передній поверхні R_n являє собою силу стружкоутворення. Сумарна сила різання R – рівнодіюча сила, що діє на передню та задню поверхні. Саме цю силу фіксують динамометром при експериментальному визначенні сил. Як впливає з рис. 2.7, складові рівнодіючої сили різання:

$$P_Z = P_1 + F_3 = N_{\Pi} \cos \gamma + F_{\Pi} \sin \gamma + F_3, \quad (2.1)$$

$$P_Y = P_1 + F_3 = N_{\Pi} \cos \gamma + F_{\Pi} \sin \gamma + F_3. \quad (2.2)$$

Теоретичне визначення стружкоутворення та її складових викликає певні труднощі, тому для визначення діючих напружень доцільно використовувати результати експериментальних досліджень проведених А.А. Степановим [2]. При вимірі складових сили різання динамометром фіксують значення як сил, що беруть участь в стружкоутворення, так і сил, що діють на задню поверхню, які слід визначити і виключити. Визначення сил на задній поверхні наведено нижче.

Нормальні σ і дотичні τ напруження, що діють на передній поверхні:

$$\sigma_{\Pi} = \frac{N_{\Pi}}{b l_{\Pi}}, \quad (2.3)$$

$$\tau_{\Pi} = \frac{F_{\Pi}}{b l_{\Pi}}, \quad (2.4)$$

де b – ширина зрізу; l_{Π} – довжина контакту по передній поверхні.

У свою чергу

$$N_{\Pi} = \frac{P_1 \cdot \sin(\omega + \gamma)}{\cos \omega}, \quad (2.5)$$

$$F_{\Pi} = \frac{P_1 \cdot \cos(\omega + \gamma)}{\cos \omega}. \quad (2.6)$$

Тоді

$$\sigma_{\Pi} = \frac{P_1 \cdot \sin(\omega + \gamma)}{b \cdot l_{\Pi} \cdot \cos \omega}, \quad (2.7)$$

$$\tau_{\Pi} = \frac{P_1 \cdot \cos(\omega + \gamma)}{b \cdot l_{\Pi} \cdot \cos \omega}. \quad (2.8)$$

Сили, які діють у площині зсуву, можна визначити за формулами:

$$\left. \begin{aligned} N_c &= R_{\Pi} \cdot \sin(\omega + \beta) \\ F_c &= R_{\Pi} \cdot \cos(\omega + \beta) \end{aligned} \right\} \quad 37 \quad (2.9)$$

Тоді нормальні і дотичні напруження в площині зсуву визначають залежностями:

$$\sigma_c = \frac{R_{\Pi} \cdot \sin(\omega + \beta) \cdot \sin \beta}{b \cdot a}, \quad (2.10)$$

$$\tau_c = \frac{R_{\Pi} \cdot \cos(\omega + \beta) \cdot \sin \beta}{b \cdot a}. \quad (2.11)$$

Коефіцієнти зовнішнього тертя на передній і задній поверхнях визначаються законом Амантона

$$\mu_{\Pi} = \frac{F_{\Pi}}{N_{\Pi}} \text{ і } \mu_3 = \frac{F_3}{N_3} \quad (2.12)$$

Для теоретичного визначення сил на задній поверхні інструмента умови контакту на задній поверхні різального інструменту по фасці зносу з оброблюваним матеріалом розглянемо як випадок статичного вдавлювання задньої поверхні ріжучого інструменту в оброблюваний матеріал деякою силою, нормальній до поверхні різання.

Профіль фаски зносу будемо вважати симетричною відносно фаски зносу (рис. 2.8), нехтуючи кривизною поверхні різання. Такий вид фаски зносу правомірно приймати, тому що вивчення її по всій ширині поверхні різання, а має тенденції до плавного сполученню з передньої і задньої поверхнями різального клина.

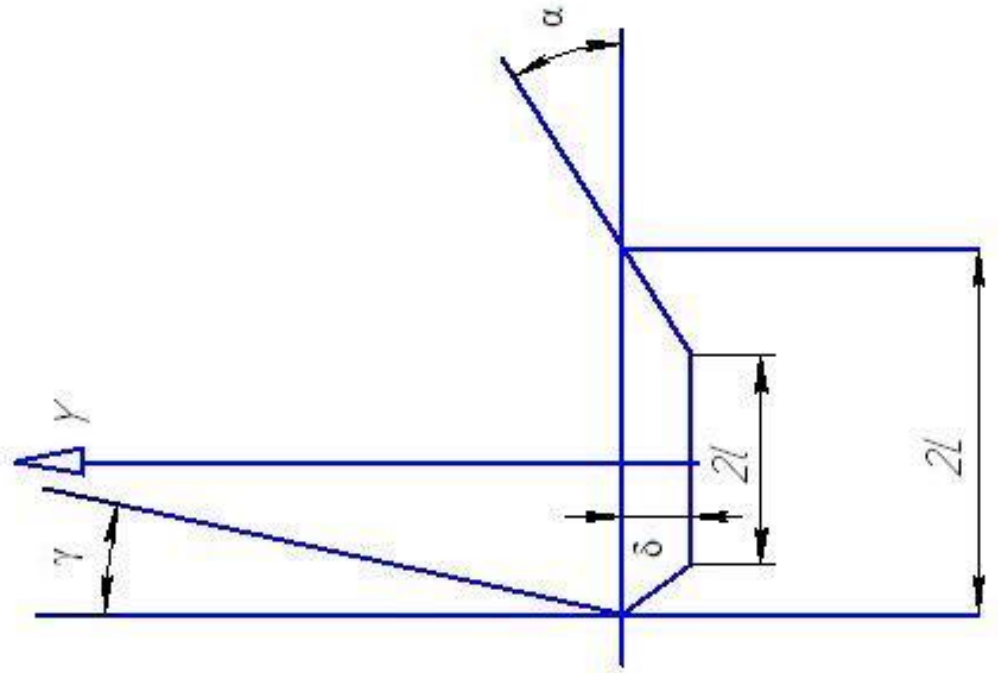


Рисунок 2.8 – Вигляд фаски зносу [5,29]

Вирішення такого завдання пружності дано в роботі [16]. Отримано вираз для нормального тиску на поверхні контакту у вигляді

$$q_N = \frac{BL \cos \beta}{\pi^2(\theta_1 - \theta_1)} \left(\frac{\sin \beta + \sin \beta_0}{\cos \beta} \ln \left| \frac{\sin(\beta + \beta_0)/2}{\cos(\beta - \beta_0)/2} \right| + \frac{\sin \beta - \sin \beta_0}{\cos \beta} \ln \left| \frac{\cos(\beta + \beta_0)/2}{\sin(\beta - \beta_0)/2} \right| + \pi - 2\beta_0 \right) \quad (2.13)$$

$$\left. \begin{aligned} \Theta_1 &= \frac{2}{\pi E_1} (1 - \nu_1^2); \\ \Theta_2 &= \frac{2}{\pi E_2} (1 - \nu_2^2); \end{aligned} \right\} \quad (2.14)$$

$$\beta = \arcsin x/L; \quad (2.15)$$

$$\beta_0 = \arcsin l/L, \quad (2.16)$$

де l – напівширина площини фаски зносу;

L – напівширина фаски зносу;

x – відстань розглянутої точки від середини ширини контакту;

B – значення другої похідної ординати за абсцисою при $x \rightarrow \pm l$ для кривої, що визначає профіль фаски зносу на ділянці $1 < x < L$, тобто $B = d^2y/(dx^2)$ при $|x| = l$; E_1 ; ν_1 ; E_2 ; ν_2 – пружні постійні відповідно першого і другого тіл, що контактують; q_N – нормальний тиск на поверхні контакту в точці, що знаходиться на відстані $\pm x$ у середині площі контакту.

У результаті математичних перетворень, диференціювання і прирівнювання нулю похідної з вираження (2.13) виходить залежність

$$\ln \frac{\sin(\beta_m + \beta_0)}{\sin(\beta_m - \beta_0)} = (\pi - 2\beta_0) \cdot \operatorname{tg} \beta_m, \quad (2.17)$$

дозволяє знайти $\beta = \beta_m$, при якому нормальний тиск на поверхні контакту досягає максимального значення $q_N = q_{N \max}$.

Використовуючи вираження (2.13) і залежність

$$\pi/2 - \beta_0 - (\sin 2\beta_0)/2 = \pi N_3 (\Theta_1 + \Theta_2) / (BL^2) \quad (2.18)$$

стосовно даного плоского контактного завдання, Н.Н. Зорев [29,30] отримав вирази, що дозволяють визначити нормальний тиск на поверхні контакту в будь-якій точці, а також його максимальне значення залежно від рівнодійної нормальної сили N :

$$q_N = \frac{2N_3}{\pi L(\pi - 2\beta_0 - \sin 2\beta_0)} \left[\sin \beta \ln \left| \frac{\sin(\beta + \beta_0)/2}{\cos(\beta - \beta_0)/2} \right| + \sin \beta_0 \times \right. \\ \left. \times \ln \left| \operatorname{tg} \frac{\beta + \beta_0}{2} \operatorname{tg} \frac{\beta - \beta_0}{2} \right| + (\pi - 2\beta_0) \cos \beta \right] \quad (2.19)$$

$$q_{N \max} = \frac{2N_3}{\pi L(\pi - 2\beta_0 - \sin 2\beta_0)} \left[\sin \beta_m \ln \left| \frac{\sin(\beta_m + \beta_0)/2}{\cos(\beta_m - \beta_0)/2} \right| + \sin \beta_0 \times \right. \\ \left. \times \ln \left| \operatorname{tg} \frac{\beta_m + \beta_0}{2} \operatorname{tg} \frac{\beta_m - \beta_0}{2} \right| + (\pi - 2\beta_0) \cos \beta_m \right] \quad (2.20)$$

Сили, що діють на задній поверхні, виникають в результаті пружного відновлення оброблюваного матеріалу. Під поверхнею контакту повинна бути навантажена пружно зона, що поширюється в глиб оброблюваного матеріалу, що характерно при обробці ВКПМ.

Припускаємо, що при обробці різанням ВКПМ руйнування оброблюваного матеріалу відбувається шляхом зрізу, тобто спостерігається так званий крихкий зріз. Умова міцності для об'ємного напруженого стану в цьому випадку має вигляд

$$\tau_{\max} \leq [\sigma]/2; \quad (2.21)$$

Слід зазначити, що для анізотропних матеріалів, якими є розглядаються ВКПМ, існуючі теорії міцності непридатні, тому що не враховують напрямок зусиль по відношенню до волокон армування.

Отримано [29] наближена проста залежність максимального дотичного напруження в зоні контакту від максимальної контактної навантаження з урахуванням впливу коефіцієнта тертя на контактні напруги [30]

$$\tau_{\max} / q_{\max} \approx 0,25 + \mu^2, \quad (2.22)$$

Звідки

$$\tau_{\max} = (0,25 + \mu^2) q_{N \max}. \quad (2.23)$$

За обраною теорії міцності

$$\tau_{\max} = \eta(\sigma_{\max} - \sigma_{\min})/2 \leq [\sigma]/2, \quad (2.24)$$

де η – коефіцієнт пропорційності, що враховує відміну реальних умов руйнування від описуваних гіпотезою.

Отже, після підстановки маємо

$$q_{N \max}^{(0,25+\mu)} = \eta[\sigma]/2. \quad (2.25)$$

Анізотропність оброблюваного матеріалу, як показують проведені дослідження, можна враховувати шляхом осереднення характеристик в осьовому і тангенціальному напрямках

$$\left. \begin{aligned} [\sigma_{cp}] &= (\sigma_{oc} + \sigma_{танг})/2; \\ E_{cp} &= (E_{oc} + E_{танг})/2; \\ v_{cp} &= (v_{oc} + v_{танг})/2. \end{aligned} \right\} \quad (2.26)$$

Підставляючи в (2.20) значення $q_{N \max}$ з (2.25) та враховуючи ширину шару, що зрізується b , отримаємо рівняння рівнодіючої нормальної сили на задній поверхні

$$N_3 = \frac{\eta[\sigma]\pi L b (2\beta_0 \sin 2\beta_0)}{4(0,25+\mu^2) \left[\sin \beta_m \ln \left| \frac{\sin(\beta_m+\beta_0)/2}{\cos(\beta_m-\beta_0)/2} \right| + \sin \beta_0 \ln \left| \operatorname{tg} \frac{\beta_m+\beta_0}{2} \operatorname{tg} \frac{\beta_m+\beta_0}{2} \right| + (\pi-2\beta_0) \cos \beta_m \right]}. \quad (2.27)$$

З рівняння (2.27) видно, що для розрахунку N_3 необхідно знати значення параметрів β_0 і β_m .

Використовуючи формули (2.14), (2.18), (2.27) і із залежності (2.17) отримаємо систему з 2-х рівнянь для визначення β_0 і β_m .

$$\left. \begin{aligned} &\frac{\frac{BL}{1-v_{1cp}^2 + \frac{1-v_2^2}{E_2}}}{E_{cp}} = \\ &= \frac{\eta[\sigma_{cp}]\pi}{(0,25+\mu^2) \left[\sin \beta_m \ln \left| \frac{\sin(\beta_m+\beta_0)}{\cos(\beta_m-\beta_0)} \right| + \sin \beta_0 \ln \left| \operatorname{tg} \frac{\beta_m+\beta_0}{2} \operatorname{tg} \frac{\beta_m+\beta_0}{2} \right| + (\pi-2\beta_0) \cos \beta_m \right]} \\ &\quad \ln \frac{\sin(\beta_m+\beta_0)}{\cos(\beta_m-\beta_0)} = \operatorname{tg} \beta_m (\pi-2\beta) \end{aligned} \right\} \quad (2.28)$$

Із системи рівнянь (2.28) значення β_0 і β_m можуть бути знайдені за відомих умов контактування; тобто при відомих значеннях; $[\sigma]_{\text{ср}}$, $E_{1\text{ср}}$, E_2 , $v_{1\text{ср}}$, v_2 , μ , L , b , η , B . Індекс «1» відносять до оброблюваного матеріалу, індекс «2» – до матеріалу інструмента. Отже, якщо умова контактування задньої поверхні інструмента й оброблюваного матеріалу відомі, то рівнодіючу нормальну силу на задній поверхні можна визначити за формулою (2.27). Силу тертя по задній поверхні визначають рівнянням

$$F_3 = \mu N_3. \quad (2.29)$$

З залежностей (2.15) і (2.19) можна знайти нормальний тиск у будь-якій точці контакту задньої поверхні ріжучого інструменту тобто отримати зону розподілу нормальних тисків на поверхні контакту.

Проведені за формулами (2.15) і (2.19) розрахунки нормальних тисків при контактуванні композиту і різця з твердого сплаву ВК8 дозволяють побудувати їх розподіл, а поверхні контакту для різних ступенів зносу різця, тобто різних значень напівширини контакту L .

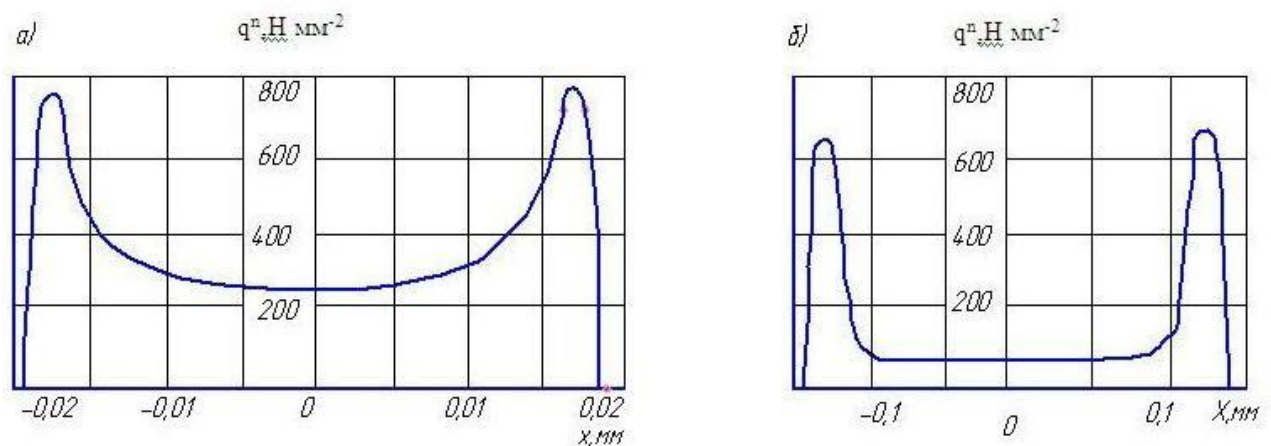


Рисунок 2.9 – Розподіл нормальних тисків по ширині контакту:

$$a - L = 0,019 \text{ мм}; \quad a - L = 0,13 \text{ мм} [29,31]$$

До рисунка.2.9 наведена картина розподілу нормальних тисків при напівширині контакту $L = 0,019$ і $L = 0,13$ мм. Як випливає з рисунка, характер

розподілу нормальних тисків однаковий при різних розмірах ширини контакту, тобто найбільші тиску зосереджені по краях контактної зони і зменшуються до середини цієї зони, досягаючи там мінімального значення. Зменшення ширини контакту призводить до збільшення як максимального, так і мінімального значень нормального тиску. Цим можна пояснити і інтенсивне зношування різця в початковий момент роботи, коли контактні майданчики невеликі.

Істотний вплив на нормальний тиск чинять і характеристики оброблюваного матеріалу. Наприклад, при двократному збільшенні межі міцності на розрив оброблюваного матеріалу, максимальне нормальний тиск збільшувалася приблизно в три рази.

Розрахунок сили на задній поверхні за формулами (2.27) і (2.28) досить складний, тому доцільно його спростити. Як впливає аналізу залежностей (2.27) і (2.28), нормальна сила на задній поверхні залежить від дев'яти факторів. Пружні константи E_{1cp} , E_2 , ν_{1cp} , ν_2 , η впливають на N_3 незначно, так як самі змінюються вузьких межах.

Істотно впливають п'ять факторів $[\sigma]_{cp}$, μ , L , b , B . Вплив ширини зрізу b очевидно, що характеризується прямою пропорційною залежністю згідно з формулою (2.27). Вплив інших чотирьох факторів не настільки очевидно, так як вони входять в систему рівнянь (2.28).

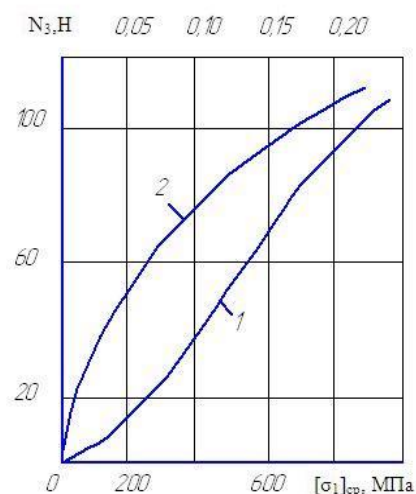
Розрахунок кожній приватній залежності нормальної сили від факторів, що впливають виробляли при постійному значенні інших факторів. Так, було прийнято: $B=5\text{мм}$, $[\sigma]_{cp}=672\text{МПа}$, $E_{1cp}=81\text{ГПа}$, $E=592\text{ГПа}$, $\nu_{1cp}=0,30$, $\nu_2=0,215$, $\mu=0,40$, $L=0,1\text{мм}$, $b=3\text{мм}$, що відповідає радіусу округлення закраїн $R=0,2\text{мм}$. Різання вільне. Результат розрахунків наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Результати розрахунку нормальної сили

Фактори	$[\sigma]_{\text{ср}}, \text{МПа}$			L, мм			B, мм ⁻¹			μ			
Сила	490	672	880	0,05	0,1	0,125	3	5	8	0,25	0,35	0,4	0,55
N, Н	51	81,4	97,2	56,9	80,4	94,2	103	80,4	64,7	125,6	97,2	80,4	54

Часті залежності нормальної сили на задній поверхні від факторів, що впливають наведено на рис. 2.10 і 2.11. Як випливає з рисунку 2.10, із збільшенням границі міцності оброблюваного матеріалу напівширина фаски зносу і нормальна сила на задній поверхні зростає. Зі збільшенням переділу міцності матеріалу його руйнує поверхню при великих напругах, а отже, і при більшій нормальній силі N_3 . Збільшення фаски зносу різця призводить до збільшення площі контакту по задній поверхні, на якій діє контактне напруження, а отже, збільшується їх результуюча сила N_3 .

З рис. 2.11 видно, що з збільшення кривизни країв фаски зносу B нормальна сила N_3 зменшується, що залежить від підвищення піків напруг по кривій фаски і деяким їхнім перерозподілом, що призводять до збільшення результуючих сил. Зменшення сили N_3 при збільшенні коефіцієнта тертя легко пояснюється залежністю (2.29). Розрахунок сили на задній поверхні може бути спрощений наступним чином.

Рисунок 2.10 – Залежність 1- $N_3=f([\sigma_1]_{\text{ср}})$; 2- $N_3=f(L)$ [31]

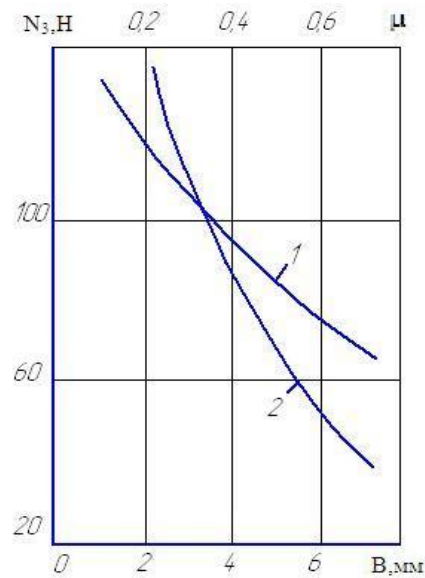


Рисунок 2.11 – Залежність 1- $N_3=f(B)$; 2- $N_3=f(\mu)$ [31]

Запишемо систему рівнянь (2.28) у вигляді:

$$\left. \begin{aligned} C = \sin \beta_m \ln \left| \frac{\sin(\beta_m + \beta_0)}{\cos(\beta_m - \beta_0)} \right| + \sin \beta_0 \times \\ \times \ln \left| \operatorname{tg} \frac{\beta_m + \beta_0}{2} \operatorname{tg} \frac{\beta_m - \beta_0}{2} \right| + (\pi - 2\beta_0) \cos \beta_m ; \\ \ln \frac{\sin(\beta_m + \beta_0)}{\cos(\beta_m - \beta_0)} = \operatorname{tg} \beta_m (\pi - 2\beta) \end{aligned} \right\} \quad (2.30)$$

Звідки

$$C = \frac{\pi \eta [\sigma_1]_{\text{cp}} [(1 - v_{\text{cp}}^2)/E_{\text{cp}} + (1 - v_2^2)/E_2]}{BL(0,25 + \mu^2)}, \quad (2.31)$$

є однією функцією від контактних умов обробки матеріалу.

Рівняння (2.30) були представлені у вигляді явних функцій:

$$\begin{aligned} \beta_0 = f(C) \text{ для } C \in [0 - 0,04]; \\ C \in [0,4 - 2,0]; \end{aligned} \quad (2.32)$$

$$\beta_m = f(C) \quad \beta_0 \in [0 - \pi/2];$$

$$\beta_m = [0 - \pi/2]$$

Функція (2.32) апроксимовані поліномами і мають вигляд:

$$\beta_0 = 1,57 - 1,64C + 0,92C^2 - 0,21C^3 \quad \text{при } C \in [0,4 - 2,0]; \quad (2.33)$$

$$\beta_m = 0,33\beta_0^5 - 1,74\beta_0^4 + 3,53\beta_0^3 - 3,39\beta_0^2 + 2,36\beta_0. \quad (2.34)$$

Користуючись залежністю (2.33), можна для заданого значення C знайти єдине відповідне йому значення β_0 . Обчислення C не становить труднощів, тому що це явна функція від умов контактування.

Тоді розрахунок N_3 – рівнодіючої нормальної сили на задній поверхні – зводять до обчислення її з елементарної формулою, полуденної після перетворень рівностей (2.18) і (2.31)

$$N_3 = \frac{\pi\eta[\sigma]_{cp}L(\pi-2\beta_0 \sin 2\beta_0)b}{4C(0,25+\mu^2)} \quad (2.35)$$

Таким чином, розрахунок сили, що діє на задній поверхні, зводять:

- до визначення величини C за формулою (2.31);
- до розрахунку величини β_0 за формулою (2.33);
- до розрахунку величини β_m по формулі (2.35).

Спрощують і розрахунок нормального тиску в будь-якій точці контакту з допомогою формули (2.19), так як значення N_3 та β_0 відомі з залежностей (2.33) і (2.35); вибирають виходячи з того, в якій точці контакту потрібно визначити нормальний тиск за співвідношенням (2.16).

З метою перевірки отриманих теоретичних залежностей для розрахунку сили на задній поверхні А.А. Степановим проведено експериментальні дослідження. Вимірювали силу на задній поверхні при вільному різанні

композиту різцем з твердого сплаву ВК8. У процесі експериментів одночасно визначали силу і коефіцієнт тертя на задній поверхні. Для більшої достовірності силу на задній поверхні визначали двома відомими методами [6]: екстраполяції силових залежностей на нульову товщину зрізу та порівняння сил різання при різних зносах головною задньої поверхні різця. Для тих же умов проведені розрахунки сили різання на задній поверхні за запропонованими формулами. Результати порівняння експериментальних і розрахункових даних наведені в табл. 2.2, де відносні похибки (у відсотках) підраховані за формулою

$$\delta = \frac{N_{3,\text{експ}} - N_{3,\text{роз}}}{N_{3,\text{експ}}} \quad (2.36)$$

Таблиця 2.2 – Результати порівняння сил різання

Напівширина фаски зносу L, мм	Радіус округлення різальної крайки r, мм	Сила різання, Н		σ, %
		N _{3,експ}	N _{3,роз}	
0,019	0,1	44,1	37,3	15,4
0,035	0,2	58,9	51	13,4
0,055	0,2	73,6	65,7	10,7
0,075	0,2	78,5	78,5	0
0,08	0,2	86,3	87,3	1,2
0,1	0,3	98,1	93,2	5
0,13	0,3	103	106,9	3,7

Експериментальні дослідження сил, що діють на задній поверхні інструменту при обробці ВКПМ, показали, що, по-перше, значення сили на задній поверхні складає в межах від 30 до 50% від значення сили, і тому не враховувати її в практичних розрахунках можна. По-друге, порівняння експериментальних і розрахункових даних (табл. 2.2) показує, що запропоновані формули для розрахунку сили на задній поверхні дають досить близькі (похибки не більше 15%) до експериментальних значень цілком можуть бути використані для розрахунку сил на задній поверхні, тим більше, що вони зведені до досить простішого вигляду.

2.4 Висновки до розділу

Ріжучий інструмент для обробки КМ виготовляється з різноманітних інструментальних сталей і сплавів. Матеріал ріжучої частини повинен мати високу здатність протистояти абразивному зношуванню, високу теплопровідність та низький граничний тепловмістом, тому що, з одного боку, контактні поверхні інструменту зношуються внаслідок різко вираженого абразивного впливу матеріалу наповнювача, що входить до складу композитів, а з іншого боку, внаслідок значного нагріву інструменту.

Невірно обрані геометричні параметри свердла, режими різання, робота зношеним інструментом призводять до утворення сколів крайок отворів на вході та виході свердла, появи тріщин навколо отворів, розлохмачування матеріалу. Тому реалізація заданих вимог до оброблюваної заготовки вимагає в кожному випадку технічно обґрунтованого вибору параметрів інструменту і режимів різання.

Треба відмітити, що визначення геометричних параметрів можна здійснити тільки на початковій стадії обробки тому, що у подальшому за рахунок зношування конфігурація вершини ріжучої кромки змінюється.

Особливість геометричних параметрів свердел міститься у тому, що вони впливають не лише на шорсткість та якість обробленої поверхні, здатність виводити стружку і протистояти зношуванню, але і на діаметр отриманого отвору.

3 ОСОБЛИВОСТІ МІСЦЕВОГО РУЙНУВАННЯ СЛОЇСТИХ ПЛАСТИКІВ ПРИ ТОЧІННІ ТА СВЕРДЛЕННІ І МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЦЬОГО ПРОЦЕСУ

3.1 Моделювання процесу свердлення та точіння багат шарових композитів та аналіз відомих даних

Процес свердлення БПМ і взаємозв'язок параметрів цього процесу вивчався інтенсивно і багатьма дослідниками. Було розроблено декілька моделей для оцінки величини осьової сили та крутного моменту [20-24]. Ці моделі базуються на механістичних підходах [22, 25, 26], нейронних сітках [24,27]. Більшість моделей розроблена для спіральних свердел і не враховують зношування свердел у процесі роботи.

Найбільш розповсюдженою є модель Шоу та Оксфорда [31], за якою увесь процес свердлення було поділено на три компонента: витиснення під дією ріжучої крайки, різання ріжучою крайкою і різання передньою кромкою. Було визначено вплив ріжучої крайки на величину осьової сили та крутного моменту і знайдені напівемпіричні співвідношення для підрахування цих параметрів в процесі свердлення. Ці співвідношення актуальні і на теперішній час і були з успіхом застосовані до свердлення вуглецевих пластиків [21, 29, 30].

Рівняння Шоу базується на двовірній моделі і пов'язує енергію різання U , на одиницю об'єму з крутним моментом, осьовою силою і діаметром свердла співвідношенням;

$$U=8 \frac{M_C}{P_0 d^2}, \quad (3.1)$$

де M_C – крутний момент, Н·м;

P_0 – осьова сила, Н;

d – діаметр свердлення, мм.

Це співвідношення було одержано при розгляданні твердості матеріалу при різанні і, таким чином, його можна розглядати як твердість або жорсткість різання.

З аналізу розмірності були одержані формули, що пов'язують осьову силу та крутний момент з механічними параметрами спірального свердла:

$$\frac{P_0}{d^2 H_B} = K_1 \frac{s^{1-a}}{d^{1+a}} \left[\frac{\left(1 - \frac{c}{d}\right)}{\left(1 + \frac{c}{d}\right)^a} + K_2 \left(\frac{c}{d}\right)^{1-a} \right] + K_3 \left(\frac{c}{d^2}\right) \quad (3.2)$$

$$\frac{M_C}{d^3 H_B} = K_4 \frac{s^{1-a}}{d^{1+a}} \left[\frac{\left(1 - \frac{c}{d}\right)}{\left(1 + \frac{c}{d}\right)^a} + K_5 \left(\frac{c}{d}\right)^{2-a} \right] \quad (3.3)$$

де $a, K_j (j = 1 \dots 5)$ – постійні, що можуть бути визначені експериментально;

f – подача, мм/об;

c – довжина ріжучої крайки, мм;

H_B – твердість матеріалу.

Для свердла відношення c/d є постійним і тоді рівнянням (3.2) та (3.3) можна надати вигляд (3.4)

$$\begin{cases} \frac{P_0}{d^2 H_B} = K_6 \frac{s^{1-a}}{d^{1+a}} + K_7 \\ \frac{M_C}{d^3 H_B} = K_8 \frac{s^{1-a}}{d^{1+a}} \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} P_0 = K_9 (sd)^{1-a} + K_{10} d^2 \\ M_C = K_{11} s^{1-a} d^{2-a} \end{cases} \quad (3.4)$$

де параметри K_{9-11} визначаються експериментально. З наданого співвідношення слідує, що для заданого свердла і матеріалу заготовки, осьова сила та крутний момент залежать від подачі і діаметру свердла.

Іншим, дуже важливим фактором при свердленні, є зношування інструменту під дією абразивної стружки, температури і низької теплопровідності матеріалу. Знос інструменту змінює діючі сили, що сприяє появі різних дефектів, таких як розшарування і зміна розміру отворів. Ця проблема стає ще більш важливішою для автоматизованої системи свердлення отворів.

Степінь і місто знаходження зношування у інструменті залежить від режимів обробки, матеріалу інструменту і заготовки. Головний механізм зносу – абразивне зношування, що локалізується у вершини свердла і задній грані. Вплив параметрів обробки, як відомо, це збільшення зношування інструменту із збільшенням температури та швидкості різання [30].

Якщо розглядати знос інструменту та його вік, які пов'язані між собою, але не є теж саме, то знос інструменту це зміна геометрії свердла у процесі різання. Життя інструменту показує скільки отворів може бути просвердлено, доки свердло більш не може робити отвори заданої якості. У розрахунках вік інструменту це відповідний коефіцієнт. Якщо знос інструменту зменшується вік інструменту збільшується. Таким чином, можна розглядати дві тенденції, які можуть гарантувати якість свердлення отворів: мінімізація причин, що провокують появу зносу і мінімізація наслідків зносу, що впливають на якість отворів. З такого підходу можна зробити висновок, що знос інструменту можливо не є домінуючим фактором для визначення віку інструменту. Такі фактори якості отворів, наприклад, як стан поверхневих кінців волокон, можуть бути управляючим фактором або коефіцієнтом в процесі обробки.

3.2 Автоматизований вибір раціональних або оптимальних робочих умов і параметрів процесу різання

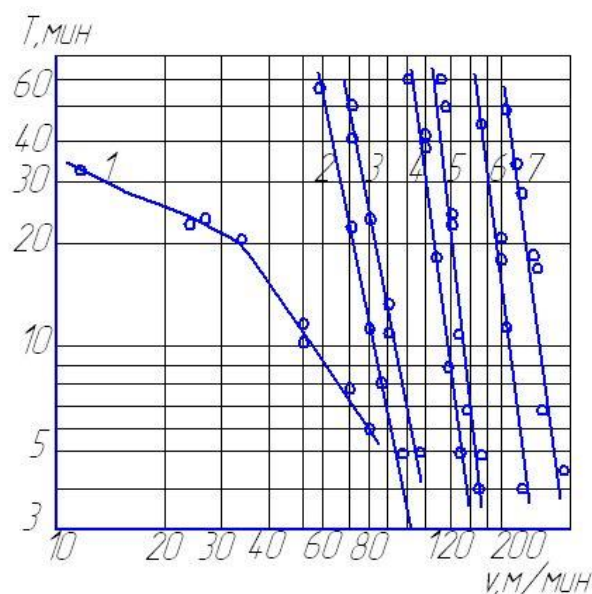
Продуктивність процесу токарської обробки багато в чому залежить від вибору режимів різання, тобто швидкості, подачі та глибини різання. Швидкість різання більшою мірою, ніж інші технологічні чинники процесу, сприяє інтенсивному зносу різального інструменту, що викликає погіршення якості обробки. У залежності від марки оброблюваного композиту швидкість різання приймається в широких межах: від 20 м/хв при точінні склопластику П-5–2 до 800 м/хв при обробці текстоліту ПТ.

Підвищення швидкості різання збільшує роботу тертя і пружних деформацій в одиницю часу при практично незмінною теплопровідності

інструмента й оброблюваного матеріалу і викликає збільшення температури в зоні різання, що підвищує інтенсивність зносу ріжучої кромки (рис. 3.1) і призводить до термодеструкції полімеру. З підвищенням температури поверхневого шару вище температури деструкції при обробці композитних матеріалів збільшується їх істираюча здатність, так як деструкція сполучного призводить до інтенсифікації окисного зносу і до збільшення абразивних властивостей наповнювача.

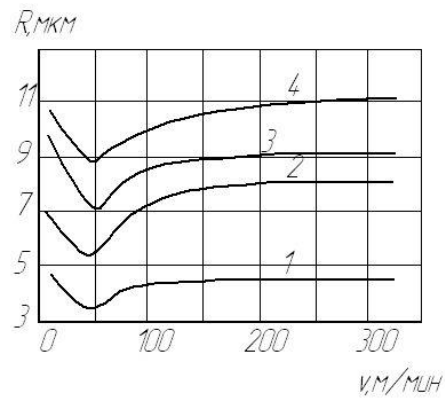
Для всіх композитів залежно чистоти поверхні від швидкості різання мають в основному горбообразний характер з явно вираженим мінімумом. Шорсткість поверхні при точінні композитів зі збільшенням швидкості різання спочатку зменшується, досягає оптимуму й далі повільно збільшується. Оптимальне значення швидкості знаходиться в інтервалі 45 - 50 м/хв (рис. 3.2).

Подача і глибина різання надають менший вплив на стійкість різців при точінні реактопластів.



1 – РТП; 2 – ЭФ-32-301; 3 – СК-9Ф; 4 – ВФТ; 5 – ПН-1; 6 – ФН;
7 – ЭФБ-Н; $s=0.21$ мм/об; $t=1.5$ мм

Рисунок 3.1 – Залежність стійкості різців, оснащеними пластинами твердого сплаву ВК3М, від швидкості різання при точінні композитів [31]



1 – органічне скло; 2 – волокніт К-21-22; 3 – волокніт К-18-2; 4 – текстоліт

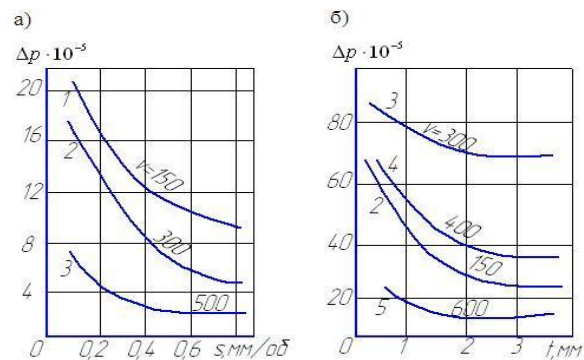
Рисунок 3.2 – Залежність шорсткості від швидкості різання [31]

Збільшення подачі супроводжується підвищенням тиску на одиницю довжини ріжучого леза, внаслідок чого зростає сила різання і, отже, інтенсивність зносу різця. У той же час довжина шляху тертя ріжучої кромки, що припадає на одиницю ваги знятого матеріалу, змінюється обернено пропорційно подачі, в силу цього зі збільшенням подачі знос зменшується. Таким чином, зміна подачі характеризується сумарним впливом на стійкість різця сили різання і шляху тертя, які незначною мірою компенсують один одного.

Зростання зношення для більшості композитів спостерігається в зоні малих подач – від 0,1 до 0,3 мм/об (рис. 3.3). У зоні подач від 0,41 до 0,92 мм/об знос залишається постійним або незначно падає. У цьому випадку менший шлях тертя компенсується збільшенням сил різання, що створюють великий тиск на одиницю довжини ріжучого леза. З точки зору підвищення продуктивності без значного збільшення зносу інструмента при чорновому і напівчистовому точінні вигідно працювати на подачах понад 0,41 мм/об. При чистовому точінні в силу великого впливу подачі на якість обробленої поверхні для одержання більш високого класу чистоти доцільно працювати на подачах 0,2-0,3 мм/об. Зі збільшенням подачі величина мікронерівностей росте для всіх видів пластмас. Головним чином це пояснюється тим, що з підвищенням подачі збільшується висота гребінців.

Зміна глибини різання характеризується постійним тиском на одиницю довжини ріжучого леза (внаслідок сталості товщини зрізу). При цьому

пропорційно глибині різання змінюються активна довжина ріжучої кромки, площа зрізу, площа контакту тертьових пар і сили різання. У той же час при постійному вазі знятого матеріалу глибина різання обернено пропорційна довжині пройденого різцем шляху, в силу чого глибина різання не робить великого впливу на знос різця. Лише при роботі з малими глибинами інтенсивність зносу дещо зростає, так як змінюються умови різання за рахунок зміни геометрії ріжучого клину. При збільшенні глибини різання від 1,5 до 4 мм питома ваговий знос різців залишається постійним (рис. 3.3, б). Проте слід враховувати, що збільшення глибини різання викликає зниження чистоти оброблюваної поверхні.



1 – КАСТ-В; 2 – гетинакс; 3 – асботекстоліт; 4 – текстоліт ПТ;

5 – текстоліт ПТК

Рисунок 3.3 – Вплив подачі (а) і глибини різання (б) на питому знос при точінні твердосплавними різцями [31]

Для визначення найвигіднішої швидкості різання можна скористатися формулою [21-24]

$$v = \frac{C_v}{T^x t^y S^z} K_{T_v} K_{C_v} \quad (3.5)$$

де C_v, x, y, z – емпіричні коефіцієнти; $K_{T_v} K_{C_v}$ – поправочні коефіцієнти.

Значення цих коефіцієнтів в залежності від типу оброблюваного композиту, марки ріжучого інструменту, періоду стійкості і виду обробки наведені в табл. 3.1 і 3.2.

Таблиця 3.1 – Емпіричні коефіцієнти

Оброблюваний матеріал	Матеріал різця	C_v	x	y	z
Гетинакс	P18	1500	0,82	0,55	0,55
	BK6	3000	0,82	0,55	0,55
	BK8	2400	0,82	0,55	0,55
Текстоліт металургійний	P18	1500	0,56	0,64	0,1
	BK6	3260	0,56	0,64	0,1
Текстоліт ПТ	P18	1000	0,46	0,64	0,1
	BK6	2516	0,56	0,7	0,1
	BK8	2130	0,56	0,7	0,1
	BK6M	2768	0,56	0,7	0,1
	BK3M	3050	0,56	0,7	0,1
Текстоліт ПТК	BK8	4400	0,56	0,7	0,1
	BK6M	5713	0,56	0,7	0,1
	BK3M	6300	0,56	0,7	0,1
Волокніт	BK6M	741	0,24	0,1	0,31
	T15K6	741	0,24	0,1	0,31
	BK8	570	0,24	0,1	0,31
	Ц-332	11950	1,33	0,22	0,12
Амінопласт МФ	Ц-332	2546	0,91	0,34	0,11
Фенопласт К-18-2	BK8	426	0,3	0,26	0,38
	BK6M	554	0,3	0,26	0,38
	BK3M	610	0,3	0,26	0,38
	Ц-332	325	0,84	0,17	0,15
Фенопласт К-21-22	BK8	382	0,3	0,26	0,38
	BK6M	496	0,3	0,26	0,38
	BK3M	545	0,3	0,26	0,38
Склопластик СТ	BK2	187	0,18	0,09	0,66
	BK8	367	0,36	0,2	0,45
	BK6M	478	0,36	0,2	0,45
	BK3M	524	0,36	0,2	0,45
ФН СК-9Ф	BK2	226	0,11	0,29	0,42
	BK2	209	0,29	0,22	0,29
Секловолокнит АГ-4В	BK8	283	0,44	0,2	0,45
	BK6M	368	0,44	0,2	0,45
	BK3M	405	0,44	0,2	0,45

Таблиця 3.2 – Поправочні коефіцієнти залежно від стійкості різця і виду обробки

Оброблюваний матеріал	Матеріал різця				
	ВК8	ВК6М		ВК3М	
	K_{T_v} при T, мін				
	30	45	60	90	120
Гетинакс	1,77	1,27	1	0,71	0,57
Текстоліт	1,47	1,17	1	0,8	0,68
Волокніт	1,18	1,07	1	0,91	0,85
Фенопласти	1,23	1,09	1	0,89	0,81
Склотекстоліт	1,28	1,1	1	0,86	0,78
Скловолокніт	1,36	1,14	1	0,84	0,73
При обробці різців					
Прохідні			Підрізаними	Відрізаними	Розточеними
$\varphi = 45^\circ$	$\varphi = 60^\circ$		$\varphi = 90^\circ$		
1	0,9		0,8	0,7	0,9

Температура ріжучої частини різця при точінні реактопластів може досягати порівняно високих значень (до 600 °С). При точінні різних композитів зміна швидкості, подачі та глибини різання робить майже однаковий вплив на температуру різця (°С), яка може бути визначена за формулою [25]

$$\theta = 105v^{0.29}s^{0.23}t^{0.24}. \quad (3.6)$$

Для обробки багатошарових композитів типу гетинаксу, текстоліту застосовують різці зі швидкорізальної сталі і твердого сплаву, для обробки композиційних матеріалів з графітовим або азбестовим наповнювачами – різці з пластинками твердого сплаву і алмазні різці.

При точінні гетинаксу різцями з негативними передніми кутами ($\gamma = -10^\circ$) стійкість інструменту зменшується. Зниження значення негативного переднього кута кілька збільшує стійкість внаслідок зменшення контактної площадки тертя дотичних поверхонь. Великі передні позитивні кути ($\gamma = 25 \div 30^\circ$) викликають інтенсивний тепловий знос. Оптимальним переднім кутом при точінні гетинаксу, при якому досягається найбільша стійкість різця і найкраща якість обробки, для різців зі сталі P18 є кути $\gamma = 10 \div 15^\circ$, для різців ВК6, ВК8 і ВК6М – $\gamma = 10^\circ$.

Різці з великими задніми кутами ($\alpha = 30 \div 40^\circ$) працюють значно спокійніше і дають кращу чистоту поверхні, ніж різці з малими задніми кутами ($\alpha = 10^\circ$). Це пояснюється зменшенням контактної площі тертя на дотичних поверхнях, і отже, зменшенням роботи тертя. Зі збільшенням заднього кута в межах від 10 до 30° стійкість різця зростає приблизно в два рази. Подальше збільшення до 40° приводить до зниження стійкості, незважаючи на кращу якість обробки при перших хвилинах різання. Це пояснюється підвищеним тепловим зносом внаслідок малого кута загострення різця. Найбільша стійкість інструменту досягається при значеннях α : для різців з швидкорізальної сталі P18 – від 20 до 30°; для різців з пластинками твердого сплаву – 20°.

Стійкість різців зі сталі P18 навіть з оптимальними геометричними параметрами дуже низька і коливається в межах 10-18 хв, що за інших рівних умов приблизно в 13 разів менше, ніж для різців, оснащених пластинками твердого сплаву ВК8 і показали при обробці гетинаксу найкращу стійкість. У зв'язку з цим різці зі сталі P18 рекомендується застосовувати тільки в штучному виробництві.

Великий вплив на стійкість твердосплавних різців при точінні гетинаксу надає швидкість різання. Зі збільшенням швидкості різання інтенсивність зносу зростає, але вона різна при різних швидкостях. Якщо в діапазоні швидкостей від 70 до 150 м/хв інтенсивність зносу порівняно мала, то в діапазоні від 150 до 500 м/хв вона швидко зростає.

Значення подачі при точінні гетинаксу не робить великого впливу на стійкість різця, і вибір її залежить від допустимої чистоти обробленої поверхні.

Найвигіднішою подачею для обробки гетинаксу, з точки зору якості обробленої поверхні та стійкості, слід вважати $s = 0,2$ мм/об. Збільшення подачі вище даного значення різко знижує якість обробленої поверхні.

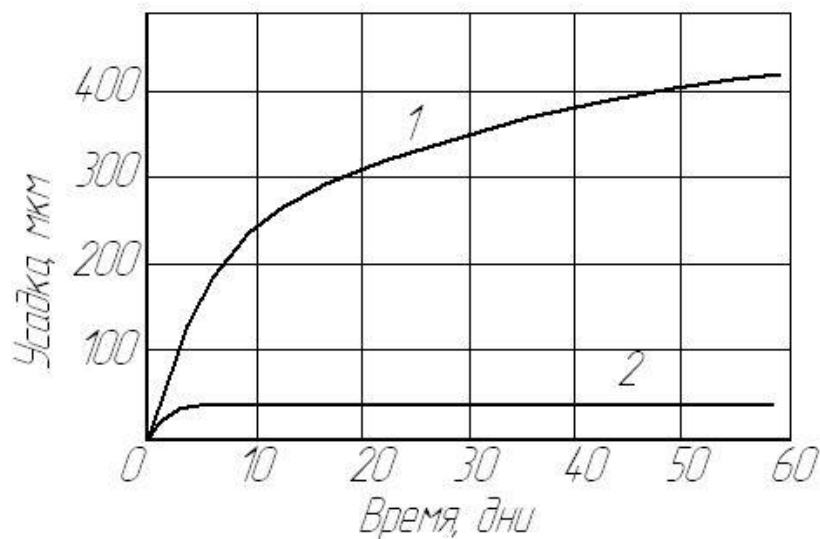
Глибина різання в межах від 0,5 до 3,0 мм при точінні гетинаксу також не надає значного впливу на стійкість.

У міру збільшення зносу різця якість обробленої поверхні погіршується, і при певній величині, взятої за критерій затуплення і рівної для гетинаксу 0,4 мм, настає зміна кольору обробленої поверхні, що супроводжується сильним налипанням смоли на ріжучий інструмент.

При точінні текстолітів різних марок більш високою стійкістю мають різці, оснащені пластинками твердого сплаву ВК6, ВК6М, ВК8. Стійкість різців зі сталі Р18 менше стійкості різців, наприклад, ВК6 в 9 - 10 разів. У разі застосування різців з Р18 в індивідуальному виробництві рекомендується наступна геометрія інструмента: $\gamma=10\div12^\circ$; $\alpha=20^\circ$; $\varphi=45^\circ$; $\lambda=0^\circ$; $r=3\div4$ мм.

Для отримання шорсткості поверхні $\nabla 5\text{--}\nabla 6$ при роботі інструментом з твердого сплаву обточку текстолітових деталей необхідно проводити тільки ретельно доведеними різцями. При цьому великий вплив на шорсткість поверхні надає радіус заокруглення головної різальної крайки різця, який не повинен бути більше 3-5 мкм.

Шорсткість поверхні, відповідна $\nabla 5\text{--}\nabla 6$, забезпечується при точінні зі швидкістю $v = 100 \div 800$ м/хв і подачами $s=0,08\div0,2$ мм/об, при цьому геометрія твердосплавного ріжучого інструменту повинна бути: $\gamma=8\div10$, $\alpha=16\div20$, $\varphi=45^\circ$, $\lambda=0^\circ$, $r=3\div4$ мм. Великий вплив на досягнуту точність при обробці текстолітових виробів надає явище усадки, в результаті якої розміри вироби зменшуються на 0,1 до 0,5 мм в залежності від діаметра деталі [23] після зберігання протягом 1,5-2 місяців (рис. 3.4). Тому у всіх випадках, коли з текстоліту необхідно виготовити шляхом точіння виріб зі стабільними і точними розмірами, його обробку слід проводити в два прийоми: спочатку обточити заготівлю начорно з припуском на усадку з розрахунку 0,6 - 0,8% від її номінального розміру, а потім після витримки на складі протягом 1,5-2 місяців, обробити начисто.



1 – одноразове; 2 – дворазове гостріння

Рисунок 3.4 – Залежність величини усадки текстолітових зразків від часу їх вилежування [31]

При обробці фенопластів К-18-2 і К-21-22 і амінопласти кращим по зносостійкості є дрібнозернистий сплав ВК6М з геометрією ріжучої частини: $\gamma = 10^\circ$; $\alpha = 20^\circ$; $\varphi = 45^\circ$; $r = 1,5 \div 2_{\text{мм}}$.

Обробку волокніту слід вести різцями ВК6М і Т15К6 з геометрією $\gamma = 15^\circ$; $\alpha = 20^\circ$ і швидкістю різання $v = 700 \div 800$ м/хв.

Для обробки амінопласта МФ, фенопластів К-18-2 і К-21-22, волокніту та інших композитів з успіхом застосовуються також керамічні різці з геометричними параметрами, зазначеними в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Геометрія керамічних різців

Обробляючий матеріал	γ	α	φ	φ_1	γ_1	r мм	Швидкість різання
	Град						
Амінопласт МФ	$-5 \div 0$	12	30-90	45	0	1	100-330
Фенопласт К-18-2	$-5 \div 0$	12	30-90	45	0	1	20-150
Волокніт	0	12	30-90	45	0	1	200-500

Державки різців з керамічними пластинками виготовляються зі сталі 50. Керамічні пластинки утримуються на державці за допомогою механічного кріплення або шляхом приклеювання їх клеєм БФ-1 з мікроазбестом, який показав найкращі експлуатаційні якості.

Керамічні пластинки слід укладати в напівзакриті гнізда державок (рис. 3.5). Така конструкція забезпечує найбільш стійке кріплення пластин. У всіх випадках гнізда для пластини повинні бути добре підігнані до пластин; вони повинні мати чисті поверхні без задирок, уступів і завалів, з тим щоб пластини щільно, без качки прилягали до їх площинах.

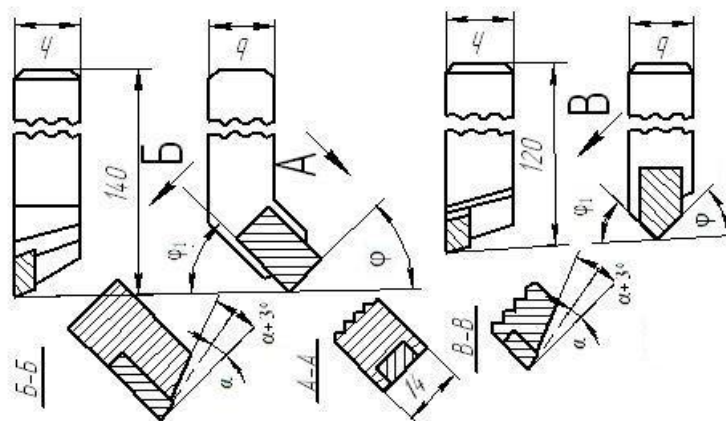


Рисунок 3.5 – Різець оздоблений керамічною пластиною

Швидкість різання при роботі керамічними різцями встановлюється в залежності від прийнятого значення стійкості різців, глибини різання і подачі. Рекомендовані швидкості вказуються в табл. 3.3.

Подача при точінні керамічними різцями вибирається залежно від заданої чистоти обробленої поверхні деталі. При чистовому точінні композитів подача змінюється від 0,05 до 0,2 мм / об; при получистовій – від 0,25 до 0,5 мм / об; при чорновому – до 2 мм / об.

Застосування різців з додатковою ріжучою крайкою ($\varphi = 0^\circ$) дозволяє значно підвищити подачу.

При виборі глибини різання слід прагнути до зняття припуску за менше число проходів, при цьому глибина різання не повинна перевищувати 6 мм.

Чернове гостріння допускається тільки у випадку рівномірного припуску на обробку, що виключає поштовхи і удари в процесі різання, небажані внаслідок низького опору стиску і підвищеної крихкості керамічних пластин.

Різці з керамічними пластинками зношуються по задньої грані з одночасним округленням ріжучої кромки. При зносі, що перевищує 0,8 мм, пластина сильно нагрівається і якість обробленої поверхні різко погіршується. Тому працювати різцями з зносом більше 0,8 мм не рекомендується. Для збільшення продуктивності обладнання доцільно у міру зносу пластини, не знімаючи різець з верстата, заправляти його бруском КЗ зернистістю 100 - 200, твердістю СМ1 і загладжувати чавунним бруском, шаржований пастою з карбіду бору або карбіду кремнію зернистістю 220 - 260.

При токарній обробці волокніту, амінопласти МФ і фенопласту К-18-2 різцями ВК6 залежність сили різання P_z (кгс), від подачі і глибини різання аналітично може бути підрахована за рівняннями [27]:

$$\text{для волокніту} \quad P_x = 9,6t^{0.77}s^{0.43};$$

$$\text{для амінопласту МФ} \quad P_x = 9,3t^{0.62}s^{0.20};$$

$$\text{для фенопласту К-18-2} \quad P_x = 8,45ts^{0.34}.$$

Вплив швидкості різання на величину P_z при точінні вищевказаних пластмас позначається тільки в діапазоні від 15 до 45 м/хв. Подальше збільшення швидкості різання (до 200 м/хв) не викликає помітного зміни цих сил.

Обробка кордоволокніта не представляє особливих труднощів з точки зору

забезпечення необхідної стійкості інструменту, але досить складна щодо отримання високої чистоти обробленої поверхні. Краща чистота обробки, але не перевищує $\nabla 4$, виходить при точінні різцями ВК6 і Р18 з зачищає крайками $f = 3 \div 4$ мм і кутами заточування (град): для ВК6 $\gamma = 16$, $\alpha = 20$, $\varphi = 45^\circ$, $\varphi_1 = 12$, $\lambda = 0^\circ$; для Р18 $\gamma = 20$, $\alpha = 20$, $\varphi = 45^\circ$, $\varphi_1 = 12$, $\lambda = 0^\circ$. Швидкості різання і подачі рекомендуються: для ВК6 $v = 400 \div 800$ м/хв, $s = 0,05 \div 0,2$ мм/об; для Р18 $v = 100 \div 200$ м/хв, $s = 0,05 \div 0,2$ мм/об. Режими різання і геометрія різального інструменту, що забезпечують оптимальну стійкість різця, дані в табл. 3.4 і 3.5.

В якості критерію, затуплення при обробці реактопластів слід приймати знос по задній поверхні, що дорівнює 0,4 - 0,7 мм. При пред'явленні підвищених вимог до шорсткості поверхонь обробки знос по задній поверхні різця допускається в межах 0,2-0,3 мм.

Таблиця 3.4 – Класи шорсткості згідно з ДСТУ України

Клас шорсткості	Параметри шорсткості		Базова довжина
	R_a°	R_z°	
1	80	320	8
2	40	160	
3	20	80	
4	10	40	2,5
5	5	20	
6	2,5	10	0,8
7	1,25	6,3	
8	0,63	3,2	0,25
9	0,32	1,6	
10	0,16	0,8	
11	0,08	0,4	
12	0,04	0,2	
13	0,02	0,1	0,08
14	0,01	0,05	

Оптимальні значення геометричних параметрів різців для точіння склопластику наведено в табл. 3.6.

Таблиця 3.6 – Геометрія ріжучого інструменту при точінні композитних матеріалів

Обробляючий матеріал	Матеріал різця	γ°	α°	φ°	φ_1°	λ°	r,мм
		Град					
Гетинакс	P18	10-15	20-30	45	45	0	4-6
	BK6M	10	20	45	12	0	1-2
Текстоліт	P18	10-12	20	45	45	0	3-4
	BK6M	8-10	13-20	45	45	0	2-3
Волокніт	T15K6	15-30	20	45	45	0	1,5-2
	BK2	5-10	20	45	45	0	1,5-3
	BK2	10-20	20	45	45	0	1,5-3
	BK6M	10	20-24	45	45	0	1,5-3
Кордоволокніт	P18	20	20	45	12	0	3-4
	BK6	16	20	45	12	0	3-4
Дерев'яна пресскрошка	BK6	18	15	45	45	0	1,5-2
	BK6M						
Скловолокніт КАСТ	BK6M	18	15	45	45	0	1,5-2
Склотекстоліт СТ	BK2	5	25	45	12-15	0	0,5-2
	BK3M						
Склотекстоліт ФН	BK2	10	10	45	12-15	0	0,5-2
	BK3M						
Склотекстоліт СК-9Ф	BK3M	0	20	45	12-15	0	0,5-2
	BK6M						
Стекловолокніт АГ-4В	BK3M	10	25	45	45	0	0,5-1
	BK3M	18	15	45	45	0	1,5-2
Склопластики П-5-2; ЭФБ-П; ВФТ	BK3M	5-10	25	45	12	0	0,5-1

Слід зазначити, що шаруваті композити є пружними, а не жорсткими матеріалами, тому всі допуски на обробку необхідно задавати з урахуванням пружності композита, а також в залежності від кінцевого застосування оброблюваної деталі. Для забезпечення економічно доцільною точності при точінні різних реактопластів в залежності від довжини оброблюваної поверхні L , діаметра D , і товщини стінки порожніх виробів в табл. 3.7 дані значення відхилень за розмірами δ . Табл. 3.7 складена для відносин $L/D \leq 2$ і $D/B \leq 8$.

Таблиця 3.7 – Економічне досягнення відхилення δ (мм) при точінні композитів

Номінальний діаметр	Гетинакс	Текстоліт	Фенопласт	Скловолокніт АГ-4
1-3	0,025	0,015	0,018	0,013
3-6	0,031	0,022	0,023	0,018
6-10	0,036	0,03	0,027	0,023
10-18	0,042	0,039	0,032	0,029
18-30	0,048	0,05	0,038	0,036
30-50	0,054	0,062	0,044	0,045
50-80	0,061	0,082	0,05	0,055
80-120	0,068	0,1	0,058	0,065
120-180	0,076	0,12	0,062	0,076
180-260	0,082	0,142	0,071	0,088
260-360	0,092	0,165	0,078	0,1
360-500	0,1	0,2	0,086	0,107

Найбільші труднощі виникають при точінні шаруватих композитів із скловолокнистим і азбестовим наповнювачем. При токарній обробці цих матеріалів із-за наявності твердих складових і високої абразивності композитів підвищується температура в зоні різання, збільшується знос інструменту, зменшується точність розмірів деталі, погіршується чистота обробленої поверхні.

Широко використовуються швидкорізальні сталі для обробки термопластичних і термореактивних пластмас з органічними наповнювачами виявилися практично непридатними для обробки склопластиків, а інструменти з поширеними при точінні металів пластинками твердого сплаву Т15К6 і Т5К10 – малоефективними.

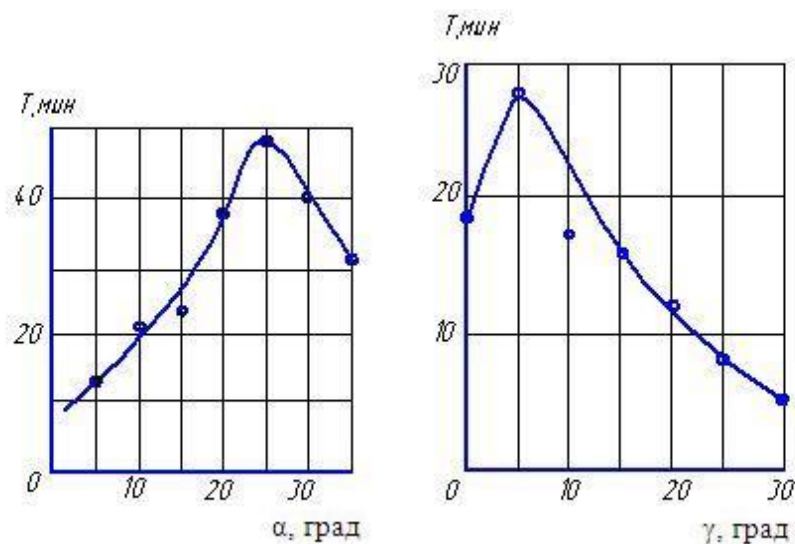
За даними досліджень різальних властивостей твердих сплавів при точінні композитів, проведених у ВНИИ [28], найбільшою стійкістю мають тверді сплави групи ВК з мінімальним вмістом кобальту (ВК2, ВК3М). Однак ці сплави мають підвищеною крихкістю і вельми чутливі до ударів і вібрацій, що породжує певні труднощі при заточуванні і експлуатації інструменту. У зв'язку з цим різці, оснащені твердим сплавом ВК2 або ВК3М, рекомендується використовувати для чистової й полужистової обробки композитів. Чорнову обробку слід проводити різцями ВК6М.

Точіння композитів різцями з керамічними пластинками економічно не виправдано зважаючи на дуже низькій їх стійкості, яка становить 0,4-0,5 хв. [24]. Причиною енергійного зносу керамічних пластинок є більший, ніж для твердих сплавів, коефіцієнт тертя, менший опір абразивного зносу, погана теплопровідність, яка призводить до високої концентрації температур в зоні різання і термодеструкції оброблюваного матеріалу.

При точінні композитів знос ріжучої кромки в основному протікає за рахунок округлення і освіти майданчики зносу на задній грані, що пояснюється великим пружним, післядією оброблюваного матеріалу.

Найбільшу стійкість при обробці композиту показують різці з малими кутами загострення і великими задніми кутами (рис. 3.6, а), оскільки із зменшенням кута загострення зменшується величина радіусу округлення різальної крайки, а великі значення задніх кутів зменшують післядія оброблюваного матеріалу.

При значеннях кута загострення менше 55° або збільшенні заднього кута більше 25° міцність ріжучої кромки різця зменшується, що призводить до її викришування і відколів.



$$v = 300 \text{ м/мін}; s = 0,21 \text{ мм/об}; t = 1 \text{ мм}$$

Рисунок 3.6 – Залежність стійкості різців від величини кутів α і γ

Найбільша стійкість різців досягається при значеннях переднього кута $\gamma = 0 \div 10^\circ$ (рис. 3.6, б), причому максимум стійкості ближче до значення 5° . Зміна переднього кута від 0 до 5° практично не впливає на чистоту обробки, змінюючи її в межах одного класу. Радіус при вершині різця $r = 0,5 \div 2$ мм і кути $\lambda = 0$, $\varphi_1 = 12 \div 15^\circ$ забезпечують одержання необхідної чистоти оброблюваної поверхні і оптимальних величин складових зусилля різання.

3.3 Висновки до розділу

Аналізуючи результати, що надані у розділу 3 можна зробити такі висновки. Підвищення швидкості різання збільшує роботу тертя і пружних деформацій в одиницю часу при практично незмінною теплопровідності інструмента й оброблюваного матеріалу і викликає збільшення температури в зоні різання, що підвищує інтенсивність зносу ріжучої кромки і призводить до термодеструкції полімеру. З підвищенням температури поверхневого шару вище температури деструкції при обробці композитних матеріалів збільшується їх істираюча здатність, тому що деструкція сполучного призводить до інтенсифікації окисного зносу і до збільшення абразивних властивостей наповнювача.

Для всіх композитів залежність чистоти поверхні від швидкості різання мають в основному горбообразний характер з явно вираженим мінімумом. Шорсткість поверхні при точінні композитів зі збільшенням швидкості різання спочатку зменшується, досягає оптимуму й далі повільно збільшується. Оптимальне значення швидкості знаходиться в інтервалі 45 - 50 м/хв.

4 ЗНОШУВАННЯ ІНСТРУМЕНТУ ПРИ ОБРОБЦІ КОМПОЗИЦІЙНИХ ПЛАСТИКІВ У БАГАТОСЕРІЙНОМУ АВТОМАТИЗОВАНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

4.1 Фізичний механізм та характер зношення інструменту при механічній обробці композитів

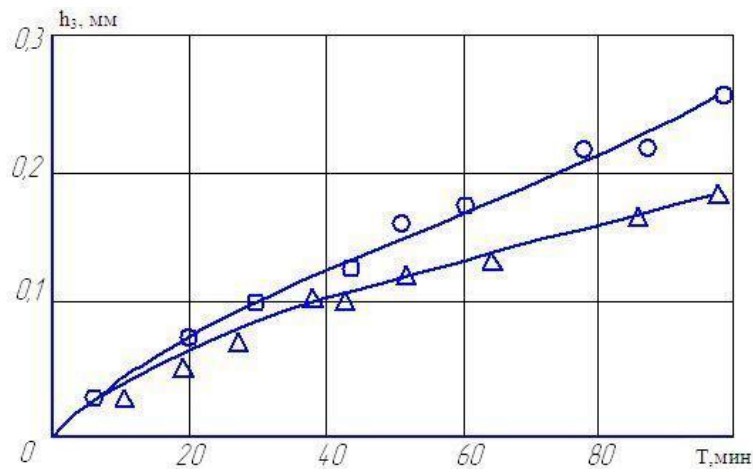
Обробка різання ВКПМ супроводжується інтенсивним зношуванням ріжучого інструменту, при чому цей характер відрізняється від зношування інструменту при різанні металів. Це пояснюється в першу чергу особливостями властивостей і структури самих оброблюваних матеріалів. Для управління процесу різання та забезпечення обробки необхідно з'ясувати природу і закономірності зношування інструмента.

Відомо [26], що зношування інструменту при різанні матеріалів носить комплексний характер, тобто абразивно-механічні, дифузійні, адгезійні, втомлене, хімічне та інші види зношування, причому в залежності від умов обробки превалює той чи інший вид зношування, який є визначальним.

Особливості властивостей ВКПМ та їх обробки різанням визначають і особливості зношування інструмента. Так, дифузійний знос при обробки різанням ВКПМ відсутня, так як для його протікання потрібна температура $\theta > 900\text{ }^{\circ}\text{C}$, в той час як в зоні різання при обробки ВКПМ температура різання складає 500-600 $^{\circ}\text{C}$. Наявність полімерного сполучного і його неминуча деструкція при різанні призводять до появи в зоні різання поверхнево-активних речовин (ПАР), інтенсифікація процесу зношування.

Численні дослідження зношування твёрдосплавних інструментів при різанні різних ВКПМ показують ідентичний характер залежностей зношування від часу роботи інструменту (рис. 4.1). Розглядаючи звичайну обробку ВКПМ кривих «знос-час», для них характерні два періоди зношування – це період швидкого зношування в початковий момент часу, званої переробкою, і період

рівномірного зношування, званий періодом нормального зносу. Характерний при обробки металів період катастрофічного зносу при обробки ВКПМ відсутня.



– О – О – при свердлінні композиту: $v=0,67$ м/с; $s=0,2$ мм/об;

– Δ – Δ – при точінні композиту: $v=0,7$ м/с; $s=0,206$ мм/об

Рисунок 4.1 – Залежність зносу інструмента від часу його роботи [31]

Характерним для обробки ВКПМ є досить незначний знос інструменту по передній поверхні, що пояснюється малими силами, прикладеними до передньої поверхні. У той же час зношування по задній поверхні дуже значний, що легко пояснюється суттєвими контактними явищами на задній поверхні інструменту, що викликається великим пружним відновленням обробленої поверхні. Причому зношування інструменту, як показують численні дослідження [30], відбувається як за рахунок округлення ріжучої кромки, так і безпосередньо по фактичній площі контакту задньої поверхні з оброблюваним матеріалом. У початковий період (до зносу ($h_{\zeta}=0,20\div0,25$)) зношування відбувається головним чином за рахунок округлення різальної крайки ρ_0 . Відповідно до цього має бути певне співвідношення між радіусом округлення різальної кромки і зносом. Подібне співвідношення $h_{\zeta}=(1,7\div1,8)\rho$ отримано А.А. Корольовим [30], однак при виході цієї залежності не було враховано початковий радіус округлення різальної кромки

Для визначення величини h_3 розглянемо $\triangle AOB$, в якому $\angle OAB = (\alpha + \beta)/2$, $\angle ABO = 90^\circ - \alpha$ і $\angle AOB = 90^\circ + (\alpha - \beta)/2$. Скориставшись теоремою синусів отримаємо

$$h_3 = \rho \frac{\cos[(\alpha - \beta)/2]}{\sin[(\alpha + \beta)/2]}. \quad (4.2)$$

З $\triangle AOF$, подібного $\triangle AOB$, визначаємо

$$h_{30} = \rho \frac{\cos[(\alpha - \beta)/2]}{\sin[(\alpha + \beta)/2]}. \quad (4.3)$$

Тоді визначаємо знос по задній поверхні h_3 у відповідності з формулою (4.1)

$$h_3 = (\rho - \rho_0) \frac{\cos[(\alpha - \beta)/2]}{\sin[(\alpha + \beta)/2]}. \quad (4.4)$$

Для значень кутів α і γ , близьких до оптимальних при обробці ВКПМ, співвідношення (4.4) приймає вигляд

$$h_3 = (1.45 \div 1.60) \cdot (\rho - \rho_0). \quad (4.5)$$

У ряді випадків, особливо при обробці виробів більшої довжини становить інтерес радіальний знос різця. У відповідність зі схемою на рис. 4.2 можна визначити радіальний знос різця в залежності від радіуса округлення його ріжучої кромки ρ радіальний знос (без урахування початкового радіуса округлення різальної крайки) визначаємо як різницю $AO - OD$. Тоді з $\triangle AOB$ маємо $OB = \rho$

$$AO = \rho \frac{\cos \alpha}{\sin[(\alpha + \beta)/2]}. \quad (4.6)$$

Отже

$$h_r = \rho \left\{ \frac{\cos \alpha}{\sin(\alpha + \beta)/2} - 1 \right\}. \quad (4.7)$$

З урахуванням початкового радіуса округлення ріжучої кромки ρ_0 радіальне зношення h_r при даній величині ρ визначається як $AD - AE$. Величину AE знаходимо з $\triangle AOF$, подібного $\triangle AOB$, як $AE = AO - OE$. Так як $OE = \rho_0$, то

$$AE = \rho_0 \left\{ \frac{\cos \alpha}{\sin(\alpha + \beta)/2} - 1 \right\}. \quad (4.8)$$

Отже, раціональний знос різця з урахуванням початкового радіуса округлення різальної крайки ρ_0 визначається формулою

$$h_r = (\rho - \rho_0) \left\{ \frac{\cos \alpha}{\sin(\alpha + \beta)/2} - 1 \right\}. \quad (4.9)$$

Доцільно мати співвідношення між зносом по задній поверхні і радіальним зношенням різця. Для цього по формулі (4.4) виразимо радіус округлення різальної крайки через h_3 і отримаємо

$$\rho = \rho_0 + \frac{\sin[(\alpha + \beta)/2]}{\cos[(\alpha - \beta)/2]} h_3. \quad (4.10)$$

При $\beta = 90^\circ - (\alpha + \gamma)$ для кутів α і γ , близьким до оптимальних, співвідношення (4.10) набуває вигляду

$$\rho = \rho_0 + (0,6 \div 0,7) h_3. \quad (4.11)$$

Підставимо у формулу (4.9) радіус округлення різальної кромки (4.10) отримаємо співвідношення між радіальним зношенням і зношенням по задній поверхні

$$h_r = h_3 \frac{\cos \alpha - \sin[(\alpha + \beta)/2]}{\cos[(\alpha - \beta)/2]}. \quad (4.12)$$

Для кутів α і γ , близьких до оптимальних для обробки ВКПМ, отримаємо співвідношення (4.12) у вигляді

$$h_r = (0.30 \div 0.35) h_r. \quad (4.13)$$

Оскільки на кривих зношування інструменту залежно від часу роботи інструменту відсутні ділянки катастрофічного зносу, за критерій зносу, як правило, приймають будь-якої технологічний фактор. У більшості випадків таким технологічним фактором є якість обробленої поверхні. При великих зношеннях ($h_3 > 0,3$ мм) з'являється розшарування матеріалу, розлохмачення, можлива поява припіку. Це пояснюється збільшенням сил різання при збільшенні зношення і підвищення температури в зоні різання.

Механічний адсорбційний знос. Цей вид зносу докладно досліджено В.І. Дрожжина [16]. При різанні ВКПМ під дією великих локальних напружень на майданчиках контакту задньої поверхні інструмента і високої температури, завжди перевищує теплостійкість органічного матеріалу, що пов'язує масовий розрив хімічних зв'язків у молекулярних ланцюгів полімеру. Утворюється велике число вільних макрорадикалів у в'язкотекучому полімері. Вільні макрорадикалі мають надлишкову енергією. Найтонша плівка полімеру покриває поверхню інструмента. Деструктований в зоні різання полімер мігрує по поверхнях інструменту та за дефектами його поверхневого шару, знижуючи поверхневу енергія металу. Це істотно полегшує механічний відрив поверхневих мікрочастинок, а в ряді випадків і макрочасток інструментального матеріалу.

Водневий знос. При різанні ВКПМ завжди бувають тертя між інструментом і оброблюваним полімером. як відомо [14], при терті металу з пластмасою з'являється водневий знос, сутність якого полягає в тому, що виділяються при терті іони водню проникають в наявні мікротріщини. У зародках тріщин протони

водню можуть набувати електрони і перетворювати атоми, а потім – молекули. Збільшуючись у розмірах, вони з величезною силою розпирають поверхні в місці дефекту. Тріщини, зливаючись один з одним, призводять до руйнування поверхневого шару.

А.А. Степановим і А.С. Романовим були проведені експериментальні дослідження, що підтверджують наявність водневого зносу інструменту при різанні ВКПМ.

4.2 Технологічний критерій затуплення і обчислення стійкості інструменту при свердленні композиційних матеріалів у багатосерійному автоматизованому виробництві

При розгляді оброблюваності склопластиків необхідно враховувати ряд факторів, що відрізняють процеси їхньої обробки, від процесів, що виникають при різанні металів. Внаслідок наявності цих факторів, далеко не всі особливості механічної обробки розглянутих матеріалів можуть бути пояснені положеннями, установленними в теорії різання металів.

У силу високої стираючої здатності наповнювача склопластиків виявлення оптимальних умов роботи інструмента повинне базуватися на дослідженні закономірностей зношування. Однак не менш важливим фактором, який визначає можливість застосування тих або інших особливостей інструмента, працюючих по високоміцних композитах, є схильність цих матеріалів до характерного для процесу їхньої обробки браку.

Види характерного браку при свердлінні різних склопластиків показані на рис. 4.3.

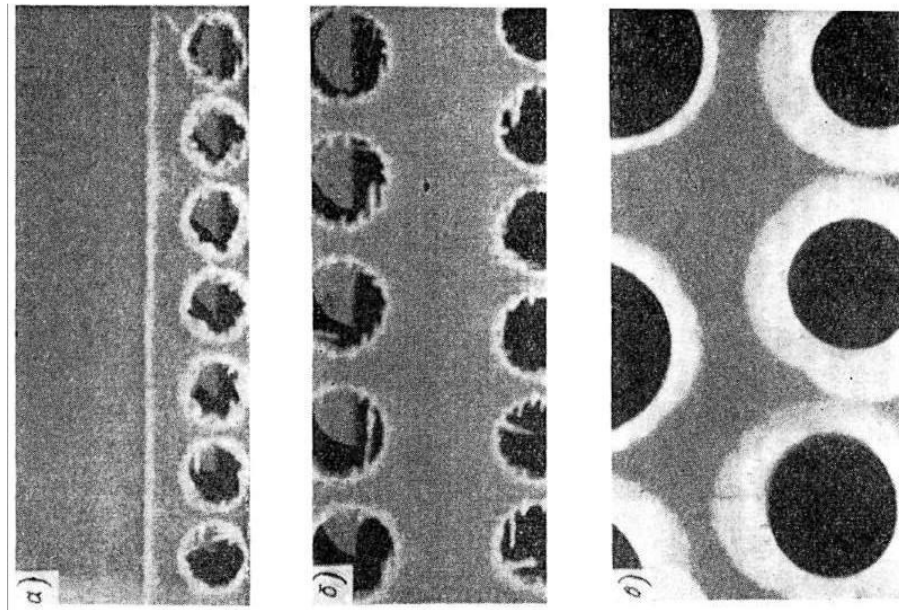


Рисунок 4.3 – Зовнішній вигляд отворів з характерним браком обробки [4]

Так, наприклад, при невдало обраних параметрах свердла на крайках отворів у скловолокнітах АГ-4У і АГ-4С спостерігаються відколи, які іноді захоплюють всю перемичку між отворами. При обробці СВМ відбувається розщеплення нижнього (на виході свердла) шпона, а також розлохмачування найтонших скловолокон при вході й виході свердла. Для свердління склотекстоліту характерно розлохмачування ниток склотканини і відшарування нижнього, а іноді і верхнього шпона по радіусу навколо отвору.

Для промисловості створення конструкцій інструмента, який забезпечує зменшення характерного браку поверхонь, оброблюваних на деталях з пластмас, не менш актуально, ніж підвищення стійкості інструмента. Звідси очевидна, доцільність прийняття технологічного критерію затуплення інструмента.

Технологічний критерій при обробці розглянутої групи композиційних матеріалів буде відповідати такій величині зношування інструмента, при якій значення певних породжуваних обробкою дефектів буде перевершувати їхню величину, яка допускається технічними вимогами до виготовлених зі склопластику деталей [31].

Доцільність прийняття технологічного критерію затуплення підтверджується, тією обставиною, що, як буде показано нижче, криві стійкісних залежностей для інструментів, які працюють по склопластиках, звичайно характеризують порівняльну рівномірність зношування без критичного його наростання в якийсь момент часу, (рис.4.4-4.5). Інакше кажучи, зв'язати критерій затуплення з початком періоду найбільш інтенсивного зношування в цьому випадку неможливо.

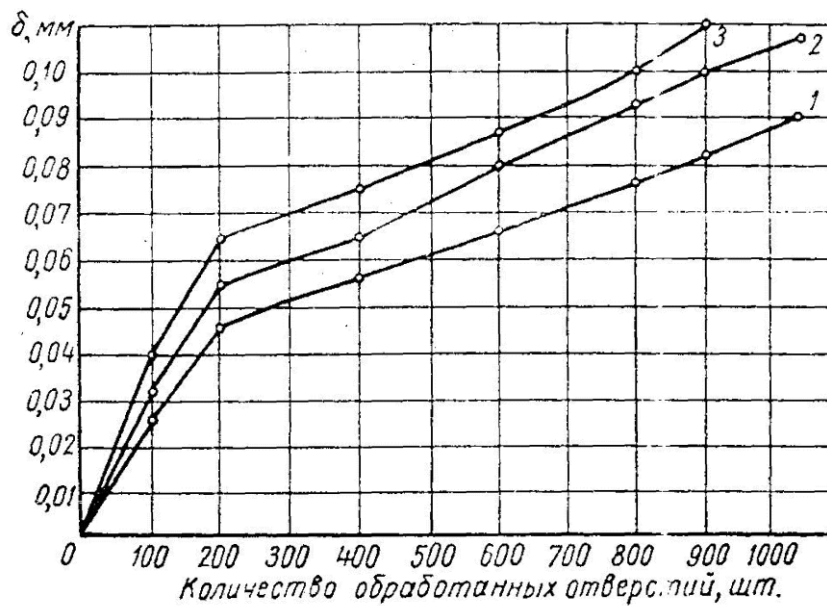
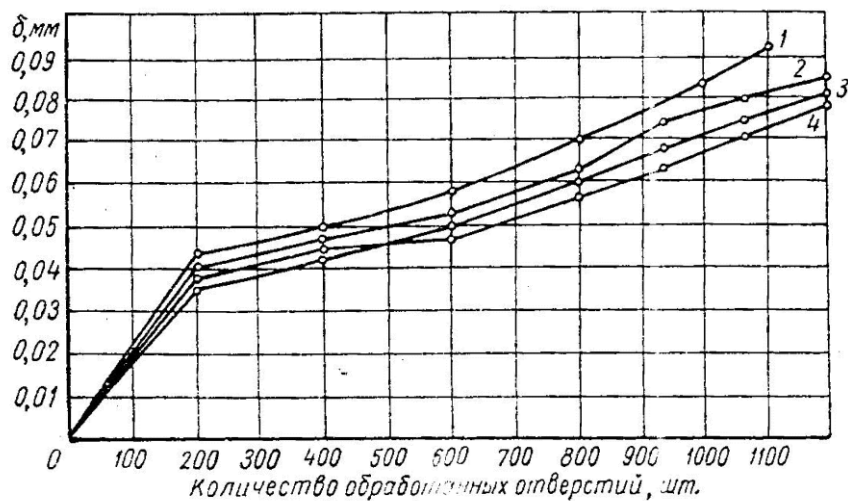


Рисунок 4.4 – Залежність величини зношування свердла з твердого сплаву ВК8 від швидкості різання: 1– $v=63,2$ м/хв., 2 – $v=73,4$ м/хв.,
3 – $v=89,5$ м/хв.[31]

Відзначений характер кривих зношування пояснюється тим, що найбільше зношування при обробці розглянутих матеріалів спостерігається по задній грані інструмента. Передня ж грань зношується менш інтенсивно і, як правило, без утворення лунки зношування. Саме тому момент погіршення якості обробки, потрібно зв'язувати з певною величиною зношування по задній грані інструмента. Ця величина гранично припустимого зношування може бути встановлена експериментально для кожного оброблюваного і інструментального матеріалу при обробці склопластиків різними видами різального інструменту.



ВК8 від подачі: 1— $s = 0,09$ мм/об., 2 — $s = 0,135$ мм/об., 3 — $s = 0,2$ мм/об.,
4 — $s = 0,3$ мм/об

Рисунок 4.5 – Залежність величини зношування свердла з твердого сплаву [31]

Слід зазначити, що величина припустимого зношування по задній грані буде неоднакова при різних вимогах, які висувають до якості оброблюваних деталей. Причому мова йде саме про деталі, а не про оброблювані поверхні, тому що при роботі з більшим зношуванням, ніж гранично припустимий, не стільки збільшується шорсткість оброблюваних поверхонь, скільки погіршується якість крайок деталі на вході і виході інструмента. Так, наприклад, при свердленні отворів у деталях зі склотекстоліту збільшення зношування понад гранично припустимий призводить лише до незначного росту шорсткості поверхні стінок і

дна. Однак при цьому дуже інтенсивно збільшується розлохмачування ниток наповнювача на крайках виробу, і при подальшому збільшенні зношування виникає розшаровування пластику. При свердлінні збільшення зношування завжди супроводжується різким погіршенням якості крайок отворів на вході і виході свердла. В обробці ж самого циліндра при невеликому перевищенні припустимого зношування зміни відзначити досить важко.

При деяких умовах взагалі виключається можливість роботи інструментом з більшим зношуванням навіть при найнижчих вимогах до якості оброблюваних деталей. Наприклад, при обробці в склопластиках отворів малих діаметрів робота свердлом зі зношуванням, більшим гранично припустимого, призводить до настільки інтенсивного нагрівання інструмента, що стружка спікається і прилипає до канавок свердла, і при цьому подальша робота стає неможливою.

Величина припустимого зношування, що відповідає технологічному критерію затуплення, залежить також і від геометрії інструмента. Чим краще обрана геометрія заточення, чим більшою мірою вона враховує особливості властивостей композиційних матеріалів, тим при більшому зношуванні інструмент буде забезпечувати задовільну якість обробки, тобто тим більше буде стійкість інструмента між переточуваннями.

4.3 Вплив технологічних параметрів на стійкість інструменту

Як показують досліді, режими різання впливають на стійкість інструмента при обробці композиційних матеріалів не менш інтенсивно, ніж геометрія ріжучої частини. Збільшення швидкості різання більшою мірою, ніж інші фактори процесу, сприяє зростанню температури в зоні різання. Теплопровідність же склопластиків настільки низька, що лише 10–15% теплоти, що утвориться при різанні, поглинається виробом і несеться стружкою. Основна частина теплоти сприймається інструментом і сприяє інтенсивності зношування останнього.

Деякі подачі зовсім не можуть використовуватися при обробці розглянутої групи пластмас, тому що навіть при роботі інструмента з оптимальною

геометрією породжують на оброблюваних поверхнях характерні для армованих пластиків дефекти (відколи, розлохмачування наповнювача, тощо). Оскільки рекомендацій з режимів на заводах обмежена, то обробка зазвичай ведеться при завищених швидкостях і неправильно підібраних подачах, що викликає різке зниження стійкості інструмента і породжує великий відсоток браку. Саме тому ціль досліджень у цій області полягала у встановленні залежностей для визначення оптимальних режимів різання при механічній обробці розглянутих матеріалів, а також у створенні математичного забезпечення визначення оптимальних технологічних режимів обробки, зручного для застосування у виробничих умовах.

Аналіз кривих зношування, отриманих при встановленні оптимальних режимів для різних видів механічної обробки розглянутих матеріалів, дає можливість виявити характер впливу режимів різання на зношування і стійкість інструмента у зв'язку з характерними властивостями шаруватих пластиків.

На рис.4.4 наведені криві, які характеризують зношування по задній грані свердлів від швидкості свердління, оснащених пластинкою твердого сплаву, при обробці скловолокніту АГ - 4С [31].

Зовсім аналогічні залежності виходять при встановленні впливу зміни швидкості різання на зношування інструмента при обробці всіх інших розглянутих пластиків будь-яким видом різального інструменту.

З аналізу кривих, очевидно, що чим більша швидкість різання, тим більше зношування (при одній і тій же стійкості). Ця закономірність обумовлюється впливом двох спільно діючих явищ:

- збільшенням інтенсивності стирання матеріалу інструмента наповнювачем;
- ростом температури в зоні різання.

На рис. 4.5 наведені криві зношування при обробці склотекстоліту з різними подачами. Порівнюючи ці криві із кривими, отриманими при різних швидкостях різання, можна відзначити, що отут спостерігається зворотна закономірність, тобто зі збільшенням подачі (у розглянутих межах) зношування інструмента

трохи зменшується. Це підтверджується також результатами досвідів, отриманими при дослідженні режимів інших видів обробки.

Під час проведення експериментів, з метою визначення доцільного діапазону досліджуваних подач, різними авторами було встановлено, що при малих подачах інструмент (особливо свердла) нагрівається значно інтенсивніше, ніж при більших. Деякі автори пояснюють це тією обставиною, що збільшення подачі, а, отже, і перетину стружки сприяє поліпшенню умов поглинання стружкою теплоти різання. На наш погляд, це пояснення, запозичене з теорії різання металів, у цьому випадку невірне, тому що тепловідводна здатність склопластиків і стружки, одержуваної при їх обробці, занадто низка. Очевидно, у цьому випадку підвищенню температури різання при малих подачах більшою мірою сприяє збільшення тривалості контакту в процесі різання між оброблюваним матеріалом, який володіє підвищеними абразивними властивостями, і інструментом.

Крім того, висока пружність і відносна м'якість пластиків при малій товщині зрізу перешкоджають процесу нормального врізання інструмента в оброблюваний матеріал, що при деякому округленні ріжучого леза може до відомого ступеня наблизити процес різання до процесів стирання і зминання оброблюваного матеріалу. Ці явища будуть сприяти підвищенню коефіцієнта тертя по дотичних поверхнях інструмента і матеріалу, що, у свою чергу, викличе підвищення температури в зоні різання.

При обробці скловолокніту АГ-4С також зовсім чітко визначається тенденція до збільшення зношування зі зменшенням величини подачі, але в досліджуваному діапазоні режимів вона з'являється ще менше, ніж при обробці склотекстоліту. Саме невелика різниця в зношуванні інструмента при роботі з різними подачами (при рівній стійкості) і забезпечила в залежностях $T-s$ максимальну стійкість при мінімальних (у досліджуваних межах) подачах. Однак робота з мінімальними в межах рекомендованого діапазону подачами доцільна тільки в тих випадках, коли пред'являються підвищені вимоги до шорсткості оброблюваних поверхонь. Щоб мати можливість проаналізувати вплив режимів

різання на стійкість інструмента, який працює по склопластиках, різними авторами встановлювалися приватні залежності $v-T$ (швидкість різання – стійкість) і $T-s$ (стійкість – подача). Досліджені дані, отримані при цьому, використовувалися і при висновку загальних залежностей. Досліджуваний діапазон швидкостей різання і подач у кожному випадку встановлювався в процесі експерименту. У всіх дослідах був прийнятий технологічний критерій затуплення. Стійкостні залежності визначалися без доведення інструмента до повного зношування, тобто залежності зношування – змінний параметр s, v, D при постійній стійкості.

На рис. 4.6, 4.7 наведені графіки, які характеризують залежність стійкості твердосплавних свердлів марки СТЕФ. На рис. 4.8, 4.9 показані аналогічні графіки при обробці скловолокніту АГ-4С [31].

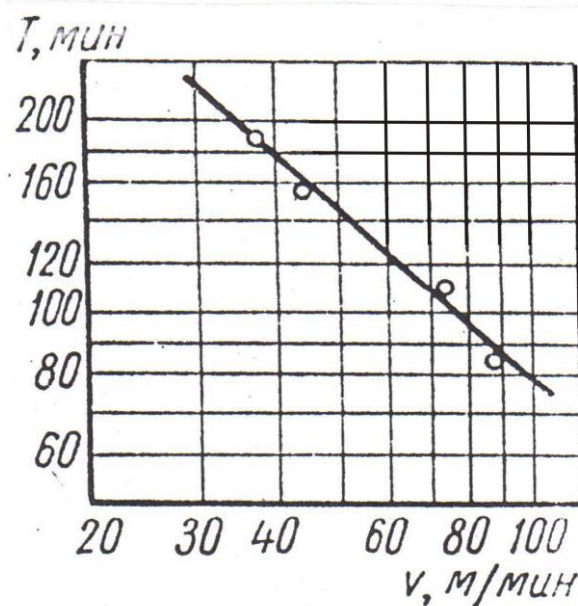


Рисунок 4.6 – Залежність стійкості свердла з твердого сплаву ВК8 від швидкості різання для склотекстоліту СТЕФ [31]

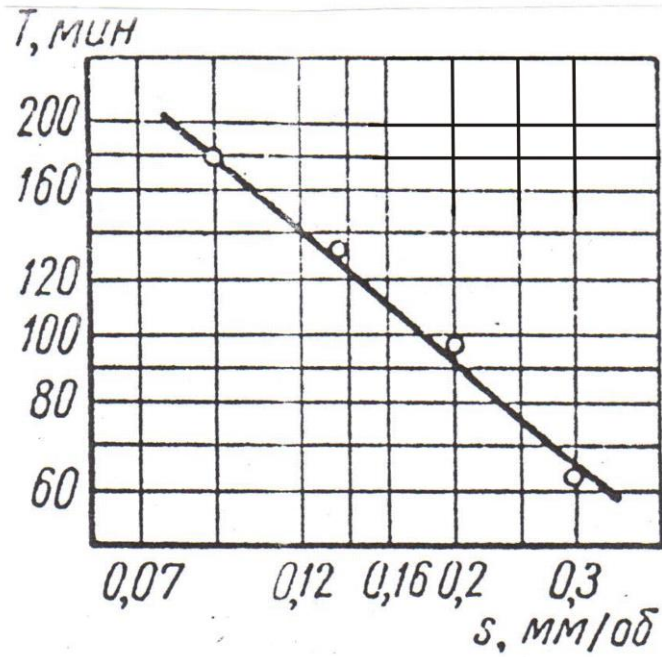


Рисунок 4.7 – Залежність стійкості свердла з твердого сплаву ВК8 від подачі для склотекстоліту СТЕФ [31]

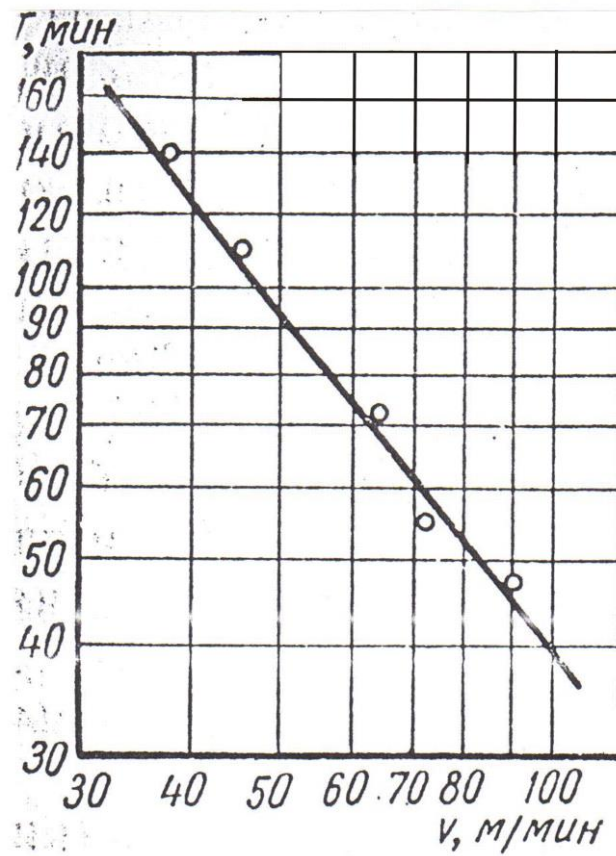


Рисунок 4.8 – Залежність стійкості свердла з твердого сплаву ВК8 від швидкості для склотекстоліту АГ-4С [31]

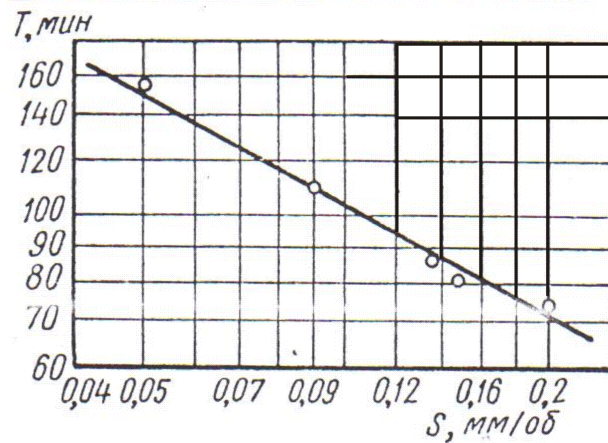


Рисунок 4.9 – Залежність стійкості свердла з твердого сплаву ВК8 від подачі для склотекстоліту АГ-4С [31]

По даним дослідів була зроблена обробка експериментальних даних, у результаті чого отримані співвідношення:

для склотекстоліту СТЕФ

$$v = A / T^{1,16}, \quad T = B / s^{0,84}$$

для скловолокніту АГ-4С

$$v = A / T^{0,80}, \quad T = B / s^{0,52},$$

де A і B коефіцієнти, які враховують умови обробки.

Аналізуючи результати дослідів по обробці різних склопластиків, виявилося можливим зробити наступні висновки:

- при обробці склопластиків незалежно від матеріалу інструмента швидкість різання впливає на стійкість більшою мірою, ніж подача;
- при обробці склотекстолітів інструментом, оснащеним пластинами твердого сплаву, вплив швидкості різання на стійкість значно менше, ніж при обробці скловолокнитів;
- та сама стійкість при роботі твердосплавним інструментом забезпечується на склотекстоліті не тільки при значно більших, ніж на АГ-4С, швидкостях, але й при більших подачах.

Для обробки розглянутих матеріалів свердлінням, користуючись графіками, наведеними на рис. 4.7, можна визначити, що обробці склотекстоліту із $T=90$ хв відповідають швидкість різання 85 м/хв при $s=0,2$ мм/об, а при обробці АГ-4С – швидкість, дорівнює 52 м/хв 52 м/хв, при $s=0,13$ мм/об.

4.4 Висновки до розділу

В якості критерію затуплення свердла приймається знос по периферійній частині його задньої поверхні. Зазвичай це значення визначається за зовнішніми проявами погіршення якості поверхні отвору, при якому з'являються відколи на крайках отворів, разлохмачування наповнювача, збільшення шорсткості обробленої поверхні і навіть поява прижогів і зміна кольору матеріалу заготовки. Кількісне значення критерію затуплення по задній поверхні залежить від складу оброблюваного матеріалу композиту, структури його армування і марки інструментального матеріалу залежить від конкретних умов обробки.

Ухвалення в якості критерію затуплення величини зносу по задній поверхні пояснюється також тим фактом, що в процесі зношування свердла відсутня ділянка катастрофічного зносу. Як зазначено в більшості досліджень параметр шорсткості поверхні стінки отвору при зносі $h_{clf} = 0-0,3$ мм практично не змінюється і становить $R_z = 20-40$ мкм, однак при $h_{clf} > 0,15$ мм спостерігається істотне разлохмачування на вході і виході свердла.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ПІД ЧАС АВТОМАТИЗОВАНОЇ ОБРОБКИ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

5.1 Основні вимоги до охорони праці

Роботодавець зобов'язаний забезпечити безпечну та надійну експлуатацію виробничих будівель і споруд відповідно до положення про безпечну та надійну експлуатацію виробничих будівель і споруд [32].

Роботодавець зобов'язаний забезпечити стан пожежної безпеки відповідно до вимог правил пожежної безпеки в Україні.

Роботодавець зобов'язаний застосовувати безпечні фактори (хімічні речовини), що пройшли гігієнічну регламентацію та державну реєстрацію, відповідно до вимог положення про гігієнічну регламентацію та державну реєстрацію небезпечних факторів

Роботодавець забезпечує проведення державної санітарно-епідеміологічної експертизи технологій, продукції та сировини відповідно до вимог порядку проведення державної санітарно-епідеміологічної експертизи,

Роботодавець організовує розроблення паспортів безпечності на всю хімічну продукцію, яка використовується під час виробництва пластмасових виробів, відповідно до ДСТУ ГОСТ 30333-2009 «паспорт безпечності хімічної продукції. Загальні вимоги (ГОСТ 30333-2007, IDT)».

Роботодавець зобов'язаний опрацювати і затвердити нормативні акти про охорону праці, що діють на підприємстві, відповідно до порядку опрацювання і затвердження власником нормативних актів про охорону праці, що діють на підприємстві

Не допускається залучення неповнолітніх та жінок до робіт, визначених у переліку важких робіт та робіт із шкідливими і небезпечними умовами праці, на яких забороняється застосування праці жінок або неповнолітніх,

Підіймання та переміщення важких речей жінками необхідно здійснювати з дотриманням вимог граничних норм підіймання і переміщення важких речей жінками, неповнолітніми.

Працівники зобов'язані проходити навчання і перевірку знань з питань охорони праці відповідно до вимог типового положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці.

Організація і проведення технологічних процесів виготовлення препаратів і деталей з полімерних композитних матеріалів повинні відповідати вимогам ГОСТ 12.3.002-75.

Під час організації і проведення технологічних процесів виготовлення деталей з вуглепластиків необхідно дотримуватись вимог СП № 4950-89, а при застосуванні матеріалів на основі скловолокна - СП № 2400-81. [32].

При проведенні технологічних процесів виготовлення деталей з полімерних композитних матеріалів необхідно застосовувати засоби захисту від дії небезпечних і шкідливих виробничих факторів, що запобігають або зменшують дію цих факторів до встановлених норм або рівнів.

Мікроклімат виробничих приміщень повинен відповідати вимогам санітарних норм мікроклімату виробничих приміщень ДСН № 3.3.6.042-99.

Концентрації шкідливих аерозолів застосованих смол, розчинників, наповнювачів у повітрі робочої зони не повинні перевищувати значень, установлених ГОСТ 12.1.005-88.

Перед початком робіт роботодавець організовує контроль параметрів повітря робочої зони згідно з вимогами до роботодавців щодо захисту працівників від шкідливого впливу хімічних речовин.

При організації виконання робіт роботодавець зобов'язаний дотримуватись вимог ГОСТ 12.1.010-76.

Напруга дотику і струми, що протікають через тіло працівника при роботі електроустановок устаткування, не можуть перевищувати норм, встановлених ДСТУ ГОСТ 12.1.038:2008.

Температура поверхонь устаткування, оснащення, що нагріваються, з якими

контактує працівник у процесі роботи, не може перевищувати +45 °C відповідно до вимог ДСТУ EN 563-2001 «безпечність машин. Температури поверхонь, доступних для дотику. Ергономічні дані для встановлення граничних значень температури гарячих поверхонь» (EN 563:1994, IDT) [32].

Напруженість електростатичного поля на робочих місцях не може перевищувати нормативів, встановлених ГОСТ 12.1.045-84.

Рівень шуму на робочих місцях і захист від шуму встановлюється відповідно до вимог ГОСТ 12.1.003-83 та санітарних норм виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку ДСН № 3.3.6.037-99.

Рівень вібрації, що впливає на працівників, і заходи щодо забезпечення безпечних умов праці повинні відповідати вимогам санітарних норм виробничої загальної та локальної вібрації ДСН № 3.3.6.039-99.

Освітлення робочих місць необхідно здійснювати відповідно до вимог державних будівельних норм України ДБН в.2.5-28:2006 «природне та штучне освітлення».

Роботодавець організовує проведення медичних оглядів працівників певних категорій під час прийняття на роботу (попередній медичний огляд) та протягом трудової діяльності (періодичні медичні огляди) відповідно до вимог порядку проведення медичних оглядів працівників певних категорій. [32].

Роботодавець проводить розслідування та облік нещасних випадків, професійних захворювань та аварій на виробництві відповідно до порядку проведення розслідування та ведення обліку нещасних випадків, професійних захворювань і аварій на виробництві.

5.2 Вимоги до технологічного обладнання

Загальні вимоги

Обладнання, що застосовується у виробництві деталей з ПКМ, повинно забезпечувати максимальну механізацію та автоматизацію робіт. Обладнання, що застосовується, повинно відповідати вимогам ГОСТ 12.2.061-81. [32]

Електрообладнання на виробничих процесах повинно відповідати вимогам ГОСТ 12.1.019-79.

Обладнання необхідно забезпечити надійним заземленням (зануленням) відповідно до вимог ГОСТ 12.1.030-81.

Для всіх елементів і вузлів устаткування, на яких можливе утворення і накопичення електростатичних зарядів, потрібно передбачити засоби захисту від дії статичної електрики відповідно до вимог ГОСТ 12.4.124-83.

Обладнання або його окремі вузли, де під час роботи відбувається інтенсивне виділення шкідливих, вибухопожежонебезпечних речовин, необхідно обладнати місцевою витяжною вентиляцією (вбудоване відсмоктування, аспіраційні укриття, витяжні парасолі тощо).

При цьому обладнання слід забезпечити блокувальними пристроями, що виключають можливість його експлуатації при непрацюючій місцевій витяжній вентиляції.

Повітроприймачі місцевих відсмоктувачів слід розташовувати таким чином, щоб унеможлиблювалося проходження забрудненого повітря через робочу зону.

Конструкція обладнання, що має пневмосистеми, повинна відповідати вимогам ГОСТ 12.2.101-84.

При експлуатації пневмоприводів і пневмопристроїв слід дотримуватись вимог ГОСТ 12.3.001-85.

Захисні огороження, які встановлені на обладнанні, повинні відповідати вимогам ГОСТ 12.2.029-88. [32]

У системі управління обладнанням, що обслуговується під час його роботи двома або більше особами, має бути блокувальний пристрій, що перешкоджає пуску обладнання однією особою.

Робочі місця такого обладнання повинні забезпечувати огляд кожним працівником з інших робочих місць.

У разі ускладнення огляду обладнання потрібно оснащувати попереджувальними сигналами (світловими, звуковими), додатковими аварійними вимикачами. Органи управління обладнанням повинні відповідати

вимогам ГОСТ 12.2.064-81.

У виробничих приміщеннях необхідно встановлювати знаки безпеки відповідно до вимог технічного регламенту знаків безпеки і захисту здоров'я працівників. [32]

Застосовування вантажопідйомних механізмів, їх експлуатацію необхідно здійснювати відповідно до вимог правил будови і безпечної експлуатації вантажопідіймальних кранів.

Вимоги до обладнання для виготовлення препаратів

Конструкція установок (барабанів, кульових млинів тощо) повинна виключати надходження пилу в повітря виробничого приміщення як в процесі дроблення, так і при завантаженні і вивантаженні матеріалу.

Реактори для приготування зв'язуючих повинні бути обладнані герметичними кришками.

Пусковий пристрій реактора необхідно заблокувати з кришкою таким чином, щоб при не повністю закритій кришці запобігти включенню в роботу реактора.

Місця завантаження компонентів у реактор та вивантаження зв'язуючого з нього слід обладнати місцевими відсмоктувачами.

Реактор, в якому відбувається змішування компонентів, повинен бути виготовлений з матеріалу, стійкого до дії компонентів, що застосовуються, а також виключати накопичення електростатичних зарядів.

Конструкції установок для виготовлення прогонів повинні забезпечити виконання робіт механізованим способом. [32]

Дотримання заданих технологічних параметрів (підтримання рівнів зв'язуючого в просочувальній ванні, часу і температури сушіння зв'язуючого в сушильній камері), а також контроль за ними необхідно автоматизувати.

Установки для розмелювання твердих компонентів повинні мати укриття та місцеві відсмоктувачі.

У конструкціях вузлів просочення наповнювача на просочувальних установках необхідно передбачати капсулювання просочувальних ванн з відсмоктуванням повітря з підкапсульного простору або закриття ванни кришкою

та обладнання її місцевим відсмоктуванням; заповнення зв'язуючих ванн просочення по герметичному трубопроводу або через спеціальне пристосування, що унеможлиблює надходження шкідливих речовин з зв'язуючого в повітря робочої зони; автоматичне підтримання необхідного рівня зв'язуючого у ванні і виключення її переповнення, а також можливість візуального контролю рівня зв'язуючого у ванні з допомогою рівнеміра; можливість легкого зняття ванни для зливання мийних розчинів з ванни в окрему тару способом, що унеможлиблює контакт рук працівника з мийним розчином [32].

В установках просочення для виготовлення стрічок з ниток шпулярник і зону протягнення ниток необхідно забезпечити укриттями, що унеможливлюють надходження пилу наповнювача в повітря виробничого приміщення.

У конструкції сушильної камери просочувальних установок необхідно передбачати постійне вентилявання всіх зон камери під час роботи установки.

Вентиляція повинна виключати утворення в камері пожежонебезпечних парів у небезпечних концентраціях при всіх технологічних режимах просочення.

Повітропровод від камери повинен мати пристрій (фільтр, відстійник тощо), що виключає викидання шкідливих парів, аерозолів в атмосферу.

Електронагрівальні елементи сушильної камери, струмопроводи до них потрібно ізолювати. Попадання на них волокон, ниток наповнювача не дозволяється.

Установки просочення потрібно оснащувати автоматичними системами пожежогасіння.

Вибір виду протипожежної техніки та вогнегасної речовини слід здійснювати конкретно для кожного типу установок з урахуванням пожежонебезпечних властивостей матеріалів, які переробляються на них.

При застосуванні вогнегасників слід передбачати їх розміщення безпосередньо біля установки.

Пожежна техніка, її розміщення та експлуатація повинні відповідати вимогам ГОСТ 12.4.009-83. [32]

Установки просочення слід обладнати блокувальними пристроями, що

виключають проведення процесу просочення при непрацюючих місцевих відсмоктувачах окремих вузлів установки; непрацюючій системі вентиляції сушильної камери; нещільно закритих дверях і стулках парасольки камери, а також при відсутності ущільнення між елементами повітропроводу від неї; при положенні перемикача систем пожежогасіння «включено»; у разі загоряння в сушильній камері.

У разі загоряння в сушильній камері необхідно забезпечувати вимкнення нагрівачів і системи вентиляції камери та перекриття повітропроводу від неї.

Для обслуговування установки у верхній зоні необхідно обладнати робочий майданчик. Його необхідно зробити стаціонарним з відбортовкою по периметру для унеможливлення падіння інструменту, а також з поручнями або сітчастим огородженням, що гарантує безпеку працівників на майданчику.

На майданчику слід прикріпити табличку із зазначенням рівня допустимого навантаження.

Робочий майданчик установки необхідно обладнати стаціонарними сходами. Майданчик та сходи слід обладнати зручними перилами, що виключають поранення рук і захоплення одягу.

В установках виготовлення предметів методом напилення порошкоподібного зв'язуючого на наповнювач (стрічку, тканину) в електростатичному полі необхідно виключати надходження пилу в повітря робочої зони.

Вузли напилення (дозатори, розпилювачі, напилювальні ділянки наповнювача) необхідно обладнати обов'язковим укриттям. [32]

При роботі установки необхідно забезпечити щільне закриття бункера, безпилоче його завантаження та звільнення його від залишків продукту.

У конструкції камери оплавлення зв'язуючих установок напилення слід передбачати постійне вентилявання під час виконання роботи. Система вентиляції камери оплавлення повинна бути автономною.

Нагрівачі, струмопроводи до них у камері оплавлення слід ізолювати таким чином, щоб виключалося потрапляння на них зв'язуючих наповнювачів.

Усі струмопровідні частини установки необхідно заземлювати.

При цьому необхідно забезпечити можливість візуальної перевірки справності заземлення тих частин установки, які можуть потрапити під високу напругу або на яких відбувається накопичення зарядів статичної електрики.

Установку наплення необхідно забезпечити струмообмежувачами, які повинні попереджати виникнення сили струму більше допустимої величини.

На установці має бути пристрій для зняття електростатичного заряду з високовольтного устаткування після вимкнення високої напруги.

Установку слід забезпечити ручною штангою із заземленням для зняття залишкових зарядів з розпилювача.

Кабель високої напруги слід надійно закріпити і ізолювати таким чином, щоб виключалося його пошкодження.

Установка наплення повинна мати блокуючі пристрої, вимикачі, які спрацьовують у разі відсутності вентиляції камери оплавлення зв'язуючого, включення розпилювального пристрою, дозатора і подачі високої напруги у разі відкритого або несправного укриття від наплення.

На пульті управління установки наплення необхідно встановити табло про наявність високої напруги та попереджувальні знаки безпеки.

На установках виготовлення предметів повинна забезпечуватися можливість механізованого встановлення та знімання рулонів з матеріалами на вузли розмотування.

Вимоги до обладнання для намотування і викладення [32].

Обладнання для розкрою препрега (попередньо просоченого матеріалу), отримання пакетів заготовок деталей методом викладення або намотування необхідно забезпечуватися засобами механізації та автоматизації процесів.

Верстати, що виконують розкрій матеріалу, викладення заготовок деталей із застосуванням підігріву матеріалу (повітрям, роликом) або із застосуванням мокрих зв'язуючих, необхідно облаштовувати вбудованими місцевими відсмоктувачами.

Система управління верстатом повинна мати пристрої, що забезпечують

його відключення при несправності одного із засобів захисту приводів подач, при відключенні подачі енергоносіїв (пневматики, електричного струму тощо) і в інших випадках, що можуть призвести до аварії.

Розташування електро-, пневмо-, гідрошлангів, кріплення їх до рухомих вузлів і нерухомих частин верстатів повинні виключати можливість пошкодження шлангів рухомими вузлами верстатів.

У разі якщо верстат обслуговується з кількох пультів управління, кожен пульт необхідно оснастити пристроєм аварійного відключення верстата з кнопкою «стоп».

Вимоги до обладнання для формування деталей [32].

Преси гідравлічні, що застосовуються для пресування деталей з ПКМ, повинні відповідати вимогам ГОСТ 12.2.117-88.

Преси гідравлічні необхідно обладнати місцевими відсмоктувачами в зоні пресування.

Преси слід оснастити автоматичною системою регулювання і контролю технологічних режимів пресування.

Пристрої електропечей для формування деталей із ПКМ мають відповідати вимогам ГОСТ 12.2.007.9-88.

Печі повинні постійно вентилюватися під час роботи.

Двері печей повинні щільно закриватися.

Нагрівачі печі повинні вимикатись при відсутності вентиляції і при нещільно закритих дверях печі.

Вимоги до обладнання для механічної обробки деталей [32].

Верстати для механічної обробки деталей з ПКМ повинні відповідати вимогам ГОСТ 12.2.009-80.

Верстати для механічної обробки деталей необхідно обладнати місцевими відсмоктувачами у зоні обробки деталей, а також пристроями для уловлювання пари і аерозолів шкідливих речовин.

При необхідності зону обробки слід закривати кожухом, до якого приєднується повітропровід відсмоктувальної системи.

Повітря з відсмоктувального пристрою необхідно подавати до повітропроводу, який під'єднаний до вентиляційної системи, що відводить повітря за межі виробничого приміщення.

Пневматичний ручний інструмент для обробки деталей з ПКМ повинен відповідати вимогам ГОСТ 12.2.010-75.

Ручний механізований інструмент, що застосовується для механічної обробки, слід забезпечити відсмоктувачем для видалення пилу.

Слюсарні верстаки, столи для робіт з деталями з ПКМ необхідно обладнати бортовими, нижніми або рухомими відсмоктувальними пристроями.

Столи необхідно облицювати матеріалом, що забезпечує легке очищення столу від пилу, зв'язуючих та інших забруднень.

5.3 Вимоги до технологічних процесів

Загальні вимоги

Під час виконання технологічних процесів виготовлення деталей з ПКМ необхідно дотримуватись положень технологічної документації, затвердженої в установленому порядку.

Під час розроблення технологічних процесів слід передбачати максимальну автоматизацію і механізацію робіт.

Під час виконання окремих операцій, які не можуть бути автоматизовані, необхідно передбачати пристосування і засоби малої механізації, що знижують або виключають вплив небезпечних факторів на працюючих, усувають безпосередній контакт працівника з шкідливими речовинами.

Експлуатацію електрообладнання, пристроїв електроосвітлення необхідно здійснювати відповідно до вимог правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів, і правил безпечної експлуатації електроустановок.

Роботи з пожежонебезпечними речовинами, матеріалами (розчинниками, антиадгезійними мастилами) потрібно проводити при постійно працюючій загальнообмінній і місцевій вентиляціях.

При проведенні зварювальних та інших вогневих робіт у виробничих приміщеннях виготовлення деталей з ПКМ необхідно дотримуватись вимог інструкції з організації безпечного ведення вогневих робіт на вибухпожежонебезпечних та вибухонебезпечних об'єктах.

Огляд, чищення поверхонь і вузлів устаткування, мереж енергоносіїв необхідно проводити при повністю відключеному обладнанні та знеструмлених мережах. При цьому необхідно вживати заходів, що перешкоджають їх випадковому включенню.

Чищення, огляд внутрішніх поверхонь обладнання (термопечей, камер нанесення антиадгезійного мастила) потрібно проводити після ретельного продування повітрям. Продувку слід проводити при працюючій вентиляції [32].

Зачищення поверхонь устаткування, видалення затверділих залишків стрічок, зв'язуючих необхідно здійснювати інструментом, що виключає іскроутворення (з латуні, міді тощо).

Чищення важкодоступних місць слід проводити спеціальними інструментами з подовженими ручками та з використанням засобів індивідуального захисту органів дихання (протигаз, респіратор тощо) згідно з вимогами правил вибору та застосування засобів індивідуального захисту органів дихання.

Видалення забруднень з обладнання слід проводити за допомогою вакуумних або піскоструминних установок.

Миття технологічної тари, інструменту, пристосувань із залишками мастил, клею, зв'язуючих необхідно проводити дозволеними мийними засобами.

При роботі потрібно використовувати бавовняні серветки, тампони. Серветки, тампони слід закріплювати на спеціальному інструменті, який виключає безпосередній контакт рук працівника з мийним засобом [32].

Роботи необхідно проводити в засобах для захисту рук.

Миття тари, інструменту необхідно проводити в окремому приміщенні на робочих місцях, обладнаних місцевими відсмоктувачами.

Пролиті розчинники, мастила, клей, зв'язуючі слід негайно засипати піском,

прибрати за допомогою совка, шпателя або іншого інструмента, виготовленого з матеріалу, що виключає іскроутворення.

Вимоги до процесу виготовлення препрегів [32].

Стан компонентів, послідовність їх завантаження, режими змішування повинні відповідати вимогам технологічної документації.

Подрібнення твердих компонентів (смола, затверджувачів) потрібно механізувати і проводити в герметично закритих апаратах.

Невелику кількість компонентів (до 3 кг) дозволяється подрібнювати вручну в тарі, що виготовлена з міцних матеріалів, що унеможливають іскроутворення. При цьому роботу слід проводити у витяжній шафі або в тарі, яка виключає пилоутворення.

Розігрівання смол слід проводити в тарі, розміщеній на піддоні. Ємність піддона повинна забезпечувати збирання всієї смоли, яка знаходиться в тарі.

Тара, піддон мають бути виготовлені з матеріалів, стійких до дії смоли і температури розігріву. Розігрівання смоли необхідно проводити в термопечах, термошафах, які обладнані місцевими відсмоктувачами.

Дозування компонентів, завантаження їх у технологічну тару, обладнання необхідно проводити на робочих місцях з місцевими відсмоктувачами (витяжна шафа, робочий стіл тощо). При цьому слід вживати заходів щодо запобігання розбризкуванню, розливанню, розпиленню в повітря приміщення речовин, матеріалів [32].

Приготування зв'язуючих необхідно механізувати, завантаження в реактор рідких компонентів, зливання зв'язуючих слід проводити закритим способом (трубопроводами, шлангами тощо). За необхідності приготування зв'язуючих у невеликих кількостях (до 5 кг) і непостійно дозволяється здійснювати дозування і перемішування компонентів у спеціальних закритих ємностях, виготовлених з матеріалів, які унеможливають іскроутворення, вручну під витяжною шафою, на робочому місці з відсмоктувальним пристроєм.

Перед початком роботи необхідно переконатися в справності блокувань, заземлення окремих вузлів і частин, електро-, пневмошлангових установок, у

наявності засобів пожежогасіння. Включення нагрівачів камери сушіння зв'язуючого здійснюється тільки при працюючій системі вентиляції і при закритих дверях камери. Обов'язково необхідно перевіряти заземлення транспортерів наповнювача, препрегів, направляючих і віджимних валків, надійність ізоляції кабелю високої напруги та рухомих шлангів електро- і пневмомережі.

При виготовленні препрегів необхідно дотримуватися заданих параметрів витрат зв'язуючого на одиницю площі тканини або стрічки, швидкості руху тканини або стрічки в сушильній камері зв'язуючого, температурних режимів сушіння, ефективності вентиляційної системи сушильної камери [32].

Заливання зв'язуючого у ванну просочення необхідно автоматизувати і проводити герметичними трубопроводами.

При відсутності автоматичного наповнення ванни заливання зв'язуючого слід здійснювати за допомогою пристосування, що забезпечує переливання зв'язуючого з тари у ванну закритим способом.

Рівень зв'язуючого у ванні не може перевищувати встановленого технологічною документацією.

Заправляння установок тканинами, стрічками, нитками, а також зрощення їх кінців слід проводити при відключенні установок від джерел енергоживлення і при зупинці всіх механізмів, якщо конструкцією установки не передбачені пристрої для заправляння без зупинки машин.

Віджимні валки, ножі в процесі просочення необхідно очищати від залишків зв'язуючого інструментом з матеріалу, що не іскрить, з подовженими ручками і обов'язково із застосуванням засобів для захисту рук. Роботу необхідно виконувати при повному відключенні установки.

Завантаження порошкоподібного зв'язуючого в бункер слід проводити за допомогою пристосування, що виключає пиловиділення.

Під час роботи установки бункер повинен бути закритий.

Вимоги до технологічних процесів виготовлення деталей [32].

Очищення оснащення від залишків продукту, мастила слід проводити із

забезпеченням відсмоктування пилу на робочих столах з місцевим відсмоктуванням або із застосуванням пересувних відсмоктувальних пристроїв.

Для знежирення оснащення слід застосовувати призначені для цього пожежобезпечні засоби.

Знежирення оснащення, нанесення антиадгезійних мастил необхідно механізувати. При неможливості механізації процесів знежирення оснащення або нанесення антиадгезійних мастил допускається проводити знежирення та нанесення мастила вручну, при цьому слід застосовувати тампони, серветки з бавовняних матеріалів. Роботи необхідно проводити з використанням засобів для захисту рук.

Знежирення розчинниками, нанесення антиадгезійних мастил та сушіння їх на повітрі слід проводити в окремих камерах або приміщеннях на спеціальних робочих місцях, обладнаних місцевою витяжною вентиляцією, засобами пожежогасіння, розташованими в безпосередній близькості від робочого місця. Оснащення необхідно надійно заземлювати.

При встановленні оснастки на транспортні візки, ложементи необхідно забезпечувати її стійке положення і надійне кріплення.

Виймання оснастки з термопечі слід проводити після охолодження всього об'єму печі до температури приміщення та попереднього продування. У виняткових випадках допускається вилучення оснастки за температури печі до +40 °C. Робота всередині печі при цьому дозволяється після її продування із застосуванням засобів індивідуального захисту органів дихання.

Вимоги до процесів намотування і викладення

Намотування, викладення заготовок деталей, розкрій препрегів повинні проводитися автоматизованим або механізованим способом.

У разі неможливості автоматизації або механізації процесів викладки заготовок деталей, розкрою препрегів з технологічних причин, а також при виготовленні дослідних зразків деталей малих партій дозволяється робити викладку заготовок деталей, розкрій препрегів вручну.

Роботи на верстатах намотування або викладки слід проводити відповідно до інструкцій з їх експлуатації.

Встановлення і піднімання важких форм, оправок, рулонів матеріалу на верстати або з верстатів слід здійснювати із застосуванням вантажопідіймальних машин, механізмів.

Звільнення від строп форм, оправок, рулонів необхідно проводити після надійного їх кріплення на верстаті.

Налаштування верстатів на робочі режими намотування (викладення), контроль параметрів (намотування, викладення, товщини пакета), встановлення рулонів з препрегів на верстат, а також знімання порожніх катушок слід проводити при відключенні і повній зупинці всіх рухомих систем верстата.

При обслуговуванні верстатів у процесі намотування (викладення) декількома операторами кожен працівник повинен перебувати на робочому місці (майданчику) відповідно до вказівок щодо умов безпечної експлуатації даного обладнання.

На кожному майданчику повинно бути не більше одного працівника.

При роботі і налаштуванні верстатів потрібно унеможливити перебування сторонніх осіб у зонах переміщення каретки, порталу верстатів шляхом огороження небезпечної зони, встановлення попереджувальних знаків безпеки.

Видалення обрізків матеріалів, заготовок деталей з верстатів дозволяється при повній зупинці каретки, порталу.

Ручний розкрій препрегів, ручне викладення заготовок необхідно проводити на робочих місцях, обладнаних місцевими відсмоктувачами.

У разі викладення великогабаритних деталей і неможливості з технічних причин забезпечити відсмоктування роботи слід проводити в засобах захисту органів дихання (респіраторах, протигазах).

Вимоги до процесу складання технологічного пакета

Розкрій матеріалу для технологічного пакета, викладку вакуумного мішка слід проводити на столах, обладнаних місцевими відсмоктувачами. [32]

Знежирення тканини вакуумного мішка, оснастки під клей необхідно

виконувати тампонами з бавовняних матеріалів.

У разі виклеювання вакуумного мішка на технологічній збірці і технічної неможливості забезпечення місцевого відсмоктування роботу необхідно проводити із застосуванням засобів індивідуального захисту для органів дихання та рук.

При складанні технологічного пакета необхідно забезпечувати його повну герметизацію та унеможливити випаровування летких речовин при закладенні штуцерів, вакуумного мішка, на виступах оснащення.

Вимоги до процесів формування

Виготовлення деталей з ПКМ пресуванням здійснюється відповідно до вимог ГОСТ 12.3.030-83.

Встановлення знімних форм вкладишів, знаків у стаціонарні прес-форми слід проводити за допомогою спеціального інструменту, що виключає потрапляння рук працівника в зону змикання форм (подовжені пінцети, тримачі з довгими ручками тощо).

Розкриття вакуумного мішка слід проводити після охолодження технологічного пакета до температури виробничого приміщення.

Розкриття вакуумного мішка і розбирання технологічного пакета необхідно проводити із забезпеченням відсмоктування для видалення летких речовин і пилу.

Розпакування технологічного пакета, зняття деталі з форми необхідно проводити із застосуванням пристроїв та в послідовності, зазначеній в технологічній документації на виготовлення цієї деталі.

Вимоги до процесів механічної обробки

Механічну обробку необхідно проводити на верстатах, обладнаних відсмоктувальними пристроями. У разі використання устаткування, яке не укомплектоване пиловідсмоктувальним пристроєм, слід вжити заходів щодо оснащення його місцевим відсмоктувачем.

Для оброблення деталей ПКМ ручним механізованим інструментом слід використовувати ручні пневматичні машини із вбудованими відсмоктувачами.

При використанні ручного механізованого інструменту, що не має

вбудованого відсмоктувача, необхідно використовувати переносні відсмоктувальні пристрої, які слід встановлювати безпосередньо поблизу зони оброблення, або роботу проводити на спеціальних робочих місцях, обладнаних місцевими відсмоктувачами, поворотними столами.

При роботі абразивним інструментом слід дотримуватись вимог ГОСТ 12.3.028-82. [32]

Пристосування, що застосовуються при обробленні деталей, повинні відповідати вимогам ГОСТ 12.2.029-88.

При обробленні великогабаритних деталей, що виходять за межі устаткування, необхідно встановлювати переносне огородження та попереджувальні знаки безпеки.

При виконанні роботи всередині агрегатів необхідно забезпечити їх вентиляцію за допомогою пересувних відсмоктувальних пристроїв і з використанням засобів індивідуального захисту органів дихання.

5.4 Вимоги до розміщення виробничого обладнання і організації робочих місць

Розміщення виробничого обладнання повинно здійснюватись відповідно до проектної документації та забезпечувати безпечну евакуацію працівників при аварійних ситуаціях.

Розміщення обладнання повинно забезпечити безпеку та зручне його обслуговування і ремонт, а також за можливості прямоточність транспортування оснастки, деталей та матеріалів.

Організація робочих місць повинна відповідати вимогам ГОСТ 12 2.033-78.

У місцях, перебування в яких пов'язане з можливою небезпекою для працівників, а також на виробничому обладнанні, що є джерелом цієї небезпеки, необхідно встановити відповідні знаки безпеки: знаки високої електричної напруги на дверцятах шаф з апаратурою управління; знаки, що не дозволяють прохід і перебування людей в зоні руху каретки, порталу верстатів.

При обслуговуванні працюючого обладнання кожен працівник повинен перебувати на робочому місці відповідно до вимог інструкції з експлуатації обладнання.

Робочі місця, проходи, проїзди не дозволяється захащувати оснащенням, деталями, відходами виробництва.

Кількість розчинників, клеїв, мастил, зв'язуючих, що знаходяться одночасно на робочому місці, не може перевищувати норми, встановленої технологічною документацією.

ВИСНОВКИ

Основною метою магістерської атестаційної роботи було визначення на базі літературних даних основних положень зношування інструменту при механічній обробці свердлінням композиційних матеріалів. Прогнозування інтенсивності зношування і характеру появи дефектів поверхні отворів при свердленні різними типами інструментів для побудови системи автоматизованого вибору параметрів обробки.

Основним вмістом роботи було виконання пошукових робіт по підготовці до проектування автоматизованої лінії по обробці виробів з полімерних композиційних матеріалів, що містить в собі: ознайомлення з теоретичними дослідженнями; аналіз видів і типів інструменту, що застосовується при автоматизованій обробці; аналіз рівня силового навантаження інструменту та матеріалу. Для реалізації завдання були зроблені наступні дослідження:

- розглянуто особливості різання композиційних матеріалів, актуальні проблеми механічної обробки, тріщиностійкості при навантаженні композитів та моделювання процесу руйнування.
- наведено основні дані про геометричні параметри інструмента, що застосовується при механічній обробці, силові та кінематичні фактори процесу обробки крихких композиційних матеріалів;
- було розглянуто актуальні питання та особливості механічної обробки багатошарових композиційних матеріалів, а також проведений аналіз відомих даних і літературних джерел по свердленню та точінню композитів;
- розглянуто особливості навантаження слоїстих пластмас при точінні та свердлінні, проаналізовано процес математичного розрахунку.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ДСТУ 3008:2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлення [Текст]. – Введ. 2015-06-22. – К.: Держстандарт України, 2017. – 29 с.

2. Методичні вказівки з «Розробки й оформлення магістерської атестаційної роботи» для студентів другого (магістерського) рівня вищої освіти галузі знань Автоматизація та приладобудування за спеціальністю 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології освітні програми: «Автоматизоване управління технологічними процесами», «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва», «Комп'ютеризовані та робототехнічні системи» / Упоряд. І.Ш. Невлюдов, В.В. Косенко, В.В. Євсєєв. – Харків: ХНУРЕ, 2019. – 55 с.

3. АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА ПРИЛАДОБУДУВАННЯ («Automation and Development of Electronic Devices» ADED-2020) [Електронний ресурс] : збірник студентських наукових статей / Харківський національний університет радіоелектроніки ; [редкол.: І.Ш. Невлюдов та ін.]. – Харків : ХНУРЕ, 2020. – Вип. 2. – 298 с.

4. Невлюдов І.Ш. Технічні засоби автоматизації: Підручник / І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич, О.І. Филипенко, Н.П. Демська, С.П. Новоселов. – Кривий Ріг : Криворізький коледж НАУ, 2019. – 366 с.

5. Буров А.Е. Разрушение одно направленного композита с расслоением в вершине трещины // Институт вычислительного моделирования СО РАН России, Красноярск, 2003.– 55 с.

6. Селевцов, Л. И. Автоматизация технологических процессов[Текст]: Учебник / Л. И. Селевцов, А. Л. Селевцов. – М.: ИЦ «Академия», 2014. – 352 с.

7. Experimental analysis of drilling damage in thin carbon/epoxy plate using special drills / Piquet R., Ferret B., Lachaud F., Swider P. // Composites, Part A.– 2000.– 31.– P.1107–1115.

8. Davim J.P., Reis P. Drilling carbon fiber reinforced plastics manufactured by autoclave experimental and statistical study // *Materials and Design*.– 2003.– 24.– P.315–324.

9. Основи наукових досліджень: Навч. посібник / І.Ш. Невлюдов, Ю.М. Олександров, А.О. Андрусевич, О.О. Чала. – Кривий Ріг: Криворізький коледж НАУ, 2019. – 396 с.

10. Конспект лекцій з дисципліни "Теорія автоматичного управління" для напряму підготовки 6.050202 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» [Електронний ресурс] / ХНУРЕ ; розроб. О. В. Токарева. - Харків, 2015. — 32 с.

11. Dipaolo G, Kappor S.G, Devor R.E. An experimental investigation of the crack growth phenomenon for drilling of fiber-reinforced composite materials // *J. Eng. Ind., ASME*.– 2006.–118.– P.104–110.

12. Lin S.C., Chen I.K. Drilling of carbon fiber-reinforced composite material at high speed // *Wear*.– 2009.– 194.– P.156–162.

13. Capello E., Tagliaferri V. Drilling Damage of GFRP and Residual Mechanical Behavior // *Journal of Composites Technology and Research*.–2017.– 23, N2.

14. Ельперін, І.В. Автоматизація виробничих: Підручник / І.В. Ельперін, О.М. Пупена, В.М. Сідлецький, С.М. Швед. – Вид. 2-ге, виправлене – К.: Вид. Ліра-К, 2015. – 378 с.

15. Zhang L.-B., Wang L.-J., Liu X.-Y. A mechanical model for predicting critical thrust forces in drilling composite laminates // *Journal of Engineering Manufacture*.– 2011.–215, N2.

16. Корпуса РЭА. Часть 1. Промышленные изделия. [Електронний ресурс] / режим доступу : / [www./ URL: http://mcucpu.ru/index.php/ucontrollers/raznoe/152-korpusa-rea-chast-1-promyshlennye-izdeliya](http://www.mcucpu.ru/index.php/ucontrollers/raznoe/152-korpusa-rea-chast-1-promyshlennye-izdeliya) – Загл. з екрану.

17. Хавин Г.Л. Сверление полимерных композиционных материалов / Г.Л. Хавин. – Х. Вид-во «Діса плюс», 2017. – 352 с.

18. Ko S. L., Chang, J. E., Kalpakjian S. Development of drill geometry for burr

minimization in drilling // CIRP J. Manuf. Sci. Technol..–2013. –52, N1.–P.45–48.

19. de Lacalle L. N. L., Rivero A., Lamikiz A. Mechanistic model for drills with double point-angle edges // Int. J. Adv. Manuf. Technol..– 2019. – 40, N5. – P.447–457.

20. Desai B., Rana J. Machining characterization of CFRP laminates with respect to drilling operation – a review // Journal of Engineering Research and Studies.– 2012. – V. III/IV. – P.8–12.

21. Upadhyay P.C., Lyons J.S. On the evaluation of critical thrust for delamination free drilling of composite laminates // J Reinf. Plast. Composite.– 2009.– 18. – P.1287–1303.

22. Невлюдов, І. Ш. Виробничі процеси та обладнання об'єктів автоматизації: Підручник для студентів вищих навчальних закладів / І. Ш. Невлюдов. – Кривий Ріг: Криворізький коледж НАУ, 2017. – 444 с.

23. Machinability analysis in drilling woven GFR/epoxy composites: part I – effect of machining parameters / U.A. Khashaba, I.A. EI-Sobaty, A.I. Selmy, A.A. Megahed // Composites: Part A, 2010. –41. – P.391–400.

24. Machinability analysis in drilling woven GFR/epoxy composites: part II – effect of drill wear / U.A. Khashaba, I.A. EI-Sobaty, A.I. Selmy, A.A. Megahed // Composites: Part A.– 2010. –41. – P.1130–1137.

25. Durão L.M., De_Moura M.F., Marques A.T. Numerical prediction of delamination onset in carbon/epoxy composites drilling // Engineering Fracture Mechanics.– 2018. – 75. – P.2767–2778.

26. Mohan N.S., Kulkarni S.M., Ramachandra A. Delamination analysis in drilling process of glass fiber reinforced plastic (GFRP) composite materials // Journal of Materials Processing Technology.– 2017. –186. – P.265–271.

27. Zitoun R, Collombet F, Lachaud F. Experimental calculation of the cutting conditions representative of the long fiber composite drilling phase // Composites Science and Technology.– 2015. – 65. – P.455–466.

28.. Vandervelde H. Drilling processes / Printed circuits handbook, Ed. C. F. Coombs, Jr., Ed. Mc. Graw Hill Companies.– 2018.

29. Tsao C.C. Thrust force and delamination of core-saw drill during drilling of carbon fiber reinforced plastics (CFRP) // International Journal Advanced Manufacturing Technology.– 2018. – 37. – P.23–28.

30. Хавин Г.Л. Сверление полимерных композиционных материалов / Г.Л. Хавин. – Х. Вид-во «Діса плюс», 2017. – 352 с.

31. І. Ш. Невлюдов Техніко-економічне обґрунтування інженерних рішень в автоматизованому виробництві: Підручник / І.Ш. Невлюдов. – Кривий Ріг : Криворізький коледж НАУ, 2019 р. – 448 с.

32. Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці» у випускних роботах усіх форм навчання / Упоряд.: Б.В.Дзюндзюк, В.А. Айвазов, Т.Є.Стищенко. – Харків: ХНУРЕ, 2012. – 28 с.