

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»
Кафедра (Машинобудування, транспорту і зварювання)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

магістра

на тему

Професійна підготовка фахівця машинобудівних підприємств з підвищення
точності механічної обробки оптичних полімерів за рахунок удосконалення
технологічного процесу

(тема кваліфікаційної роботи)

Виконав: студент 2 курсу, групи ДІТ-ПОМ23мг
спеціальності: 015.34 Професійна освіта
(Машинобудування)

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

_____ / Максим МИХАЙЛИЧЕНКО
(підпис) (ім'я та прізвище)

Керівник _____ / Олег КОНДРАТЮК
(підпис) (ім'я та прізвище)

Рецензент _____ / Костянтин БРОВКО
(підпис) (ім'я та прізвище)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри _____ / Олег ПОДОЛЯК
(підпис) (ім'я та прізвище)

Нормоконтроль _____ / Антон СКОРКІН
(підпис) (ім'я та прізвище)

Секретар ЕК _____ / Валентина СКОРКІНА
(підпис) (ім'я та прізвище)

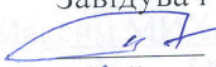
Харків – 2024 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені В.Н. КАРАЗІНА

Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»
Кафедра машинобудування, транспорту і зварювання
Спеціальність 015.34 Професійна освіта (Машинобудування)
Освітньо-професійна програма Професійна освіта (Машинобудування)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МТіЗ

 О.Л. Подоляк

“12” травня 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу

другого (магістерського) рівня вищої освіти

студенту (ці) Максиму МИХАЙЛИЧЕНКО

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Професійна підготовка фахівця машинобудівних підприємств з підвищення точності механічної обробки оптичних полімерів за рахунок удосконалення технологічного процесу

затверджена наказом 4801-5/3345 від 12.10. 2024 р.

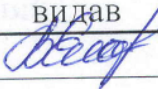
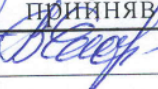
2. Термін здачі магістрантом закінченої роботи “5” грудня 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: креслення деталі типу «Tile» і механізмів токарного верстата моделі MACSON із системою автоматичного керування, нормативні документи, паспортні дані обладнання, каталоги, стандарти на засоби технічного оснащення для обробки оптичних полімерів.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити): Вступ. Технологічні особливості виробництва полімерних виробів. Стружкоутворення й сила різання при обробці полімерних матеріалів класифікація полімерних виробів і особливості кріплення заготовок у пристосуваннях Постанова задач дослідження. Розрахунки напруг і деформацій у статично навантажених моделях «полістирольна заготовка – різальний інструмент» з використанням програмного пакета ANSYS. Технологічний процес виготовлення деталі «TILE» Методичний розділ. Висновки. Список джерел інформації. Додатки.

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень, плакатів: Технологічні особливості отримання виробів з полімерної оптики. Стружкоутворення і сила різання при обробці оптичних полімерів. Розрахунок напружень та деформацій в заготовці оптичних полімерів. Розробка точності пристосувань. Розрахунок зусиль затиску оптичних заготовок. Розробка маршруту виготовлення деталі «Tile». Конструювання малорозмірного різального інструменту для фрезерування полістирольних виробів. Карти наладки на операції: 010, 015, 030, 050.

6. Консультант:

Розділ	Консультант	Підпис, дата		Оцінка (бали)
		Завдання видав	Завдання прийняв	
педагогічний	Галина ЄЛЬНИКОВА			

7. Дата видачі завдання « 12 » жовтня 2024 р.

Керівник

Олег КОНДРАТЮК

(підпис)

(ім'я, прізвище)

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

Максим МИХАЙЛИЧЕНКО

(ім'я, прізвище)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН-ГРАФІК
виконання кваліфікаційної роботи

№ з/п	Назва етапів роботи та питань, які мають бути розроблені відповідно до завдання	Термін виконання	Позначки керівника про виконання завдань
1.	Вибір теми й обґрунтування проблеми дослідження. Визначення об'єкта, предмета, мети й завдань.	05.09.24	
2.	Складання плану роботи. Підбір літератури й інших джерел	06.09.24	
3.	Оформлення завдання проектування для затвердження теми кваліфікаційної роботи	13.09.24	
4.	Підготовка аналітичної частини	20.09.24	
5.	Підготовка теоретичної частини	04.10.24	
6.	Розробка дослідницької частини	21.10.24	
7.	Розробка методичного розділу	01.11.24	
8.	Підготовка графічного матеріалу	11.11.24	
9.	Доробка проекту по зауваженнях наукового керівника	18.11.24	
10.	Доробка проекту по зауваженнях консультантів	25.11.24	
11.	Оформлення кваліфікаційної роботи. Підготовка до захисту.	02.12.24	
12.	Захист кваліфікаційної роботи	10.12.24	

Здобувач вищої освіти

(підпис)

Максим МИХАЙЛИЧЕНКО

(ім'я, прізвище)

Нормоконтроль

(підпис)

Антон СКОРКІН

(ім'я, прізвище)



Додаток 2 до Порядку проведення перевірки наукових праць, навчально-методичних видань та дипломних робіт (проектів) працівників та здобувачів вищої освіти на наявність запозичень з інших документів (нова редакція)

Введено в дію:

наказ ректора № 0204 -1/088 від 27.02.2020 р.

Протокол контролю оригінальності дипломної роботи (проекту)

Професійна підготовка фахівця машинобудівних підприємств з підвищення точності механічної обробки оптичних полімерів за рахунок удосконалення технологічного процесу

(назва роботи)

студента

МИХАЙЛИЧЕНКО Максим Вадимович

(прізвище, ім'я та по батькові)

науковий керівник

Кондратюк Олег Леонідович

(прізвище, ім'я та по батькові)

В результаті перевірки роботи в антиплагіатній інтернет-системі Strikeplagiarism.com встановлено наступні значення Коефіцієнтів Подібності

Коефіцієнт Подібності 1: 5,04,

Коефіцієнт Подібності 2: 2,43,

Сигнал „Тривога!“: ☒ – немає; ☐ – є, кількість разів у тексті ____.

Вченою радою факультету (навчально-наукового інституту) затверджено наступні показники оригінальності (за значенням коефіцієнту K1):

не більше 10% – оригінальна робота,

від __% до __% – задовільно оригінальна робота,

від __% до __% – умовно оригінальна робота,

більше __% – неоригінальна робота.

Відповідно до цього, робота може бути класифікована як:

☒ оригінальна,

☐ задовільно оригінальна,

☐ умовно оригінальна,

☐ неоригінальна.

Висновок:

☒ робота може бути допущена до захисту,

☐ необхідно провести розгляд Повного Звіту Подібності із залученням фахівців із тематики дипломної роботи (проекту).

Примітки Системного Оператора про виявлені запозичення:

Системний Оператор

(підпис)

Скоркін А.О.

(прізвище та ініціали)

(дата)

ПЕРЕЛІК ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

ВПК – волокнистий полімерний композитний

ВПК - волокнисті полімерні композити

ВПКМ – волокнистий полімерний композитний матеріал

ГРК - головна ріжуча кромка

ІМ - інструментальний матеріал

КІН - коефіцієнт інтенсивності напруги

КМ – композитний матеріал

КС – кінематична схема

КСР – кінематична схема різання

ЛРК - ріжуча кромка з лівим нахилом

МГЕ - метод граничних елементів

МКЕ - метод кінцевих елементів

НКСР– неурівноважена кінематична схема різання

ОМ - оброблюваний матеріал

ПДВ - напружено-деформований стан

ПК – полімерний композит

ПКМ – полімерний композитний матеріал

ПРК - ріжуча кромка з правим нахилом

РЕ – ріжучий елемент

РІ - ріжучий інструмент

ЗОТС - змащувально-охолоджувальні технологічні середовища

ТС– технологічна система

УКСР– урівноважена кінематична схема різання

РЕФЕРАТ

Ключові слова: ТЕХНОЛОГІЯ, ОПТИЧНІ ПОЛІМЕРИ, ПОЛІСТИРОЛ, БАЗУВАННЯ, ЗАГОТОВКА, ДЕТАЛЬ, СЦИНТИЛЯТОР, ФРЕЗЕРУВАННЯ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, ФРЕЗА, СТРУЖКА, ПРИСТОСУВАННЯ, ПЛАСТИНА.

Темою дипломного проекту є удосконалення процесу різання оптичних полімерів для створення раціонального технологічного виробництва.

Мета дипломного проекту - удосконалення процесу різання оптичних полімерів, способи їх кріплення в пристосуваннях, дослідження деформацій і напружень в заготовках оптичних полімерів в процесі різання і створення раціонального технологічного процесу деталі «tile» .

У дипломному проекті розглянуті технологічні особливості виробництва полімерних виробів, у тому числі, силові закономірності, розрахунок зусиль і напруг, що виникають в матеріалі при їх кріпленні. За допомогою програмного пакета «ANSYS» проведено розрахунок напружено-деформованого стану оптичних виробів на різних етапах технологічного процесу. Це дозволило встановити діапазон раціональних режимів різання, що виключають виникнення значних напружень і деформацій, що приводять до погіршення якості поверхневого шару. Розроблено технологічний процес деталі типу «tile».

В методичному розділі магістерської кваліфікаційної роботи було розроблено дидактичний проєкт факультативного заняття з теми «Удосконалення процесу різання оптичних полімерів для створення раціонального технологічного виробництва» для студентів спеціальності «Професійна освіта. Машинобудування». Були сформульовані цілі факультативного заняття, обрані літературні джерела з теми, проведено конструювання дидактичних матеріалів, аналіз структури навчального матеріалу факультативного заняття, розроблений план та структурно-логічна схема з теми «Удосконалення процесу різання оптичних полімерів для створення раціонального технологічного виробництва», проаналізовані базові поняття, визначені способи перевірки та формування базових знань, розробили характеристику і текст мотивації, використання якої доцільно при викладі навчального матеріалу, були спроектовані технології формування орієнтовної основи діяльності, виконавчих та контрольних дій на факультативному занятті, розроблений сценарій заняття.

ABSTRACT

Keywords: TECHNOLOGY, OPTICAL POLYMERS, POLYSTYRENE, CAPABILITY, DETAIL, BLANKS, DETAIL, SCINTILLATORS, MILLING, TECHNOLOGICAL PROCESS, CUTTER, SHAVINGS, ACCOMMODATIONS, PLATE.

The theme of the diploma project is improvement the process of cutting of optical polymer to create a rational process.

The purpose of the diploma project - a improvement of the cutting process of optical polymers, methods for their attachment to devices, the study stresses and strains in the blanks of optical polymers during the cutting process and the establishment of a rational process details «tile».

As a capstone project examined the technological features of manufacturing of plastic products, including power patterns, the calculation of forces and stresses arising in the material at their anchorage. With the help of a software package «ANSYS» calculated stress-strain state of optical products in various stages of the process. It is possible to establish the range of rational cutting conditions precluding the emergence of significant stress and strain, leading to deterioration of the surface layer. The technological process details such as the «tile».

In the methodological section of the master's qualification work, a didactic project of an optional lesson on the topic "Improving the process of cutting optical polymers for the creation of rational technological production" was developed for students of the specialty "Professional education. Engineering". The goals of the optional lesson were formulated, literary sources on the topic were selected, the construction of didactic materials was carried out, the structure of the educational material of the optional lesson was analyzed, a plan and structural-logical scheme was developed on the topic "Improving the process of cutting optical polymers for the creation of rational technological production", the basic principles were analyzed concepts, defined methods of checking and forming basic knowledge, developed a description and text of motivation, the use of which is appropriate when presenting educational material, designed technologies for forming an indicative basis of activity, executive and control actions in an optional lesson, developed a lesson scenario.

ЗМІСТ

ВСТУП	9
1. АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ МАШИНОБУДІВНИХ ПІДПРИЄМСТВ	10
1.1 Сучасний стан машинобудування України та тенденції його розвитку	10
1.2 Професійна підготовка фахівців машинобудівної галузі	12
1.3 Висновки до розділу 1	15
2. ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ВИРОБНИЦТВА ПОЛІМЕРНИХ ВИРОБІВ	16
2.1 Застосування оптичних полімерів	16
2.2 Фізико-хімічні властивості оптичних полімерів	18
2.3 Технологія виробництва полімерних заготовок	19
2.4. Фізичні особливості процесу різання полімерів	27
3. СТРУЖКОУТВОРЕННЯ Й СИЛА РІЗАННЯ ПРИ ОБРОБЦІ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ	34
3.1 Механіка різання полімерних оптичних матеріалів	34
3.1.1 Процес стружкоутворення оптичних полімерних матеріалів	34
3.1.2 Модель механіки різання оптичних полімерів	38
3.2 Експериментальні дослідження сили різання	40
4. КЛАСИФІКАЦІЯ ПОЛІМЕРНИХ ВИРОБІВ І ОСОБЛИВОСТІ КРІПЛЕННЯ ЗАГОТОВОК У ПРИСТОСУВАННЯХ	44
4.1 Класифікація деталей полімерної оптики	44
4.2 Основні принципи базування виробів	45
4.3 Розрахунки зусиль затискача пристосувань	50
4.3.1 Кріплення деталей у лещатах	50
4.3.2 Кріплення деталей у трикулачковому патроні	52
4.3.3 Кріплення деталей на вакуумному столі	55
4.4 Розрахунки напруг, що виникають при затискачі деталі пристосуванням	57
4.4.1 Розрахунки напруг, що виникає при затискачі призматичних	

деталей	57
4.4.2 Розрахунки напруг, що виникає при затискачі циліндричних деталей	59
4.5 Розрахунки точності пристосувань	62
4.5.1 Розрахунки на точність трикулачкового патрона	63
4.5.2 Розрахунки на точність вакуумного стола	66
4.5.3 Розрахунки на точність лещат	67
5. РОЗРАХУНКИ НАПРУГ І ДЕФОРМАЦІЙ У СТАТИЧНО НАВАНТАЖЕНИХ МОДЕЛЯХ «ПОЛІСТИРОЛЬНА ЗАГОТОВКА – РІЗАЛЬНИЙ ІНСТРУМЕНТ» З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОГРАМНОГО ПАКЕТА ANSYS	69
5.1 Твердотіле параметричне моделювання	69
5.2 Основні положення розрахунків на міцність твердо тільних моделей	71
5.3 Розрахунки напруг і деформацій в оброблюваних заготовках ...	82
5.3.1 Моделювання довгомірного циліндра Ø50×2000 мм	82
5.3.2 Моделювання циліндра Ø150×150 мм	87
5.3.3 Моделювання призми 800 × 150 × 150 мм	92
6. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ «TILE»	97
6.1 Характеристика й аналіз технологічності виготовлення деталі	97
6.1.1 Призначення деталі	97
6.1.2 Характеристика деталі	98
6.1.3 Аналіз технологічності	98
6.2 Розробка маршруту виготовлення деталей оптичних полімерів	100
6.3 Розрахунки проміжних розмірів деталі	102
6.4 Конструювання дрібно розмірного різального інструменту для фрезерування полістирольних виробів	103
6.5 Вибір верстатного встаткування	106
6.6 Вибір верстатного пристосування	108
6.7 Призначення режимів різання	109

6.8	Технічне нормування	110
7.	МЕТОДИЧНИЙ РОЗДІЛ (ДИДАКТИЧНИЙ ПРОЕКТ ФАКУЛЬТАТИВНОГО ЗАНЯТТЯ З ТЕМИ «УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ ОПТИЧНИХ ПОЛІМЕРІВ ДЛЯ СТВОРЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА» ДЛЯ СТУДЕНТІВ СПЕЦІАЛЬНОСТІ «ПРОФЕСІЙНА ОСВІТА. МАШИНОБУДУВАННЯ»).....	112
7.1	Постановка цілей факультативного заняття (оперативних цілей)	114
7.2	Перелік літературних джерел з теми	115
7.3	Конструювання дидактичних матеріалів: аналіз структури навчального матеріалу факультативного заняття	116
7.4	Аналіз базових умов навчання	117
7.5	Проектування мотиваційних технологій навчання (характеристика і текст мотивації, використання якої доцільно при викладі навчального матеріалу)	119
7.6	Проектування технології формування орієнтовної основи діяльності на факультативному занятті	120
7.7	Проектування технології формування виконавчих дій на факультативному занятті	121
7.8	Проектування контрольних дій з теми	122
7.9	Розробка сценарію факультативного заняття	123
7.10	Висновок	124
	ВИСНОВОК	125
	СПИСОК ВИКОРИСТОВУВАНИХ ДЖЕРЕЛ	127
	ДОДАТОК А. Напруги й деформації в оброблюваних заготовках оптичних полімерів	132
	ДОДАТОК В. Графічний матеріал до дипломної роботи	143

ВСТУП

В останні десятиліття однієї з найбільш конкурентоспроможних галузей техніки на Україні вважається виготовлення оптичних сцинтиляційних полімерів. Вироби успішно застосовуються у фізику високих енергій, оптико-волоконному зв'язку, медицині.

Останнім часом основним виробником оптичних полімерних матеріалів і виробів в Україні є НТК «Інститут монокристалів» НАН України, який постійно збільшує обсяг і номенклатуру таких виробів.

Одними з розроблювачів технології механічної обробки полімерних оптичних матеріалів є кафедра «Інтегрованих технологій машинобудування» ім. М.Ф. Семко НТУ «ХПІ» і кафедра металорізального обладнання і транспортних систем УПА

При виробництві виробів з оптичних полімерів у цей час застосовуються більшість операцій механічної обробки (точіння, свердління, фрезерування – торцеве, кінцеве, дискове, сферичне й інші види обробки). Заготовка проходить усі стадії обробки – від чорнової до прецизійної.

Специфічні особливості оптичних матеріалів і виробів диктують необхідність знання фізичних явищ у зоні різання, тому що деформації й напруги оброблюваного матеріалу в значній мірі визначають протікання таких явищ, як тепловиділення, адгезію, деструкцію, структурно-фазові перетворення.

Дослідження напружено-деформованого стану оптичних виробів дозволить визначити раціональні режими різання й умови обробки для виробів оптичних полімерів з метою досягнення необхідного якості заготовки. Створення експериментально-аналітичної моделі механіки різання полімерів дозволить виявити силові залежності для вибору оптимальних параметрів механічної обробки оптичних полімерів, які забезпечать необхідні характеристики якості поверхневого шару.

1. АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ МАШИНОБУДІВНИХ ПІДПРИЄМСТВ

1.1. Сучасний стан машинобудування України та тенденції його розвитку

Актуальність обраної теми дослідження зумовлена тим, що машинобудування – важлива галузь промисловості розвинених країн миру. Вона значною мірою визначає не тільки галузеву структуру промисловості, але і її розміщення. Рівень розвитку машинобудування є одним з основних показників економічного розвитку країни.

Роль машинобудування в народногосподарському комплексі визначається тим, що воно створює знаряддя праці для:

- галузей, що роблять засоби виробництва (робочі машини й апарати, верстати, технологічне й силове устаткування, контрольно-вимірювальні прилади, технічні засоби автоматики і т.д.);
- галузей, що роблять предмети споживання (машини для сільського господарства, технологічне встаткування для легкої й харчової промисловості й т.п.), а також самі предмети споживання (легкові автомобілі, побутову техніку, телевізори, радіоприймачі, відеотехніку, годинник і т.д.);
- будівництва, транспорту, зв'язку, торгівлі, спеціального устаткування для невиробничих галузей, а також продукції оборонного призначення.

Машинобудування має багатогалузеву структуру й характеризується створенням спеціалізованих заводів і галузей.

Увесь процес виробництва машин складається з трьох стадій:

1) виробництво заготовок (виливків, штампувань і т.д.), з яких потім роблять деталі й частини машин;

2) механічна обробка заготовок за допомогою металорізальних верстатів і виготовлення деталей і вузлів майбутніх машин. При цьому в стружку йде до

20-35% усього початкового металу, який разом з металобрухтом потім переплавляється на переробних металургійних підприємствах;

3) складання деталей і частин, у результаті чого створюється нова машина.

Сучасні машини складаються із сотень, а то й тисяч деталей і вузлів. У результаті недоцільна, а то й практично неможливо концентрація їх виробництва на одному підприємстві. Це сприяє формуванню спеціалізованих підприємств і розвитку кооперованих зв'язків між ними.

У той же час, слід зазначити, що велика кількість зв'язків ускладнює випуск кінцевої продукції через можливість зриву строків поставок підприємствами-суміжниками. У цьому зв'язку вкрай актуальним є введення й застосування високошвидкісної обробки деталей на підприємствах машинобудування взагалі й підприємствах енергетичного машинобудування, зокрема.

Більшість галузей машинобудування відрізняється високою трудомісткістю, високим рівнем кваліфікації робітників і інженерно-технічних працівників. Складність виробництва машин вимагає не тільки більших трудових витрат, але й розміщення машинобудівних заводів поблизу або безпосередньо в центрах науково-дослідних і конструкторських баз. У такий спосіб розміщаються області точного наукомісткого машинобудування, зокрема верстато- і приладобудування, електронної, електротехнічної й інших субгалузей.

Вплив названих факторів необхідно розглядати в їхній сукупності, тому що деякі галузі машинобудування одночасно орієнтуються й на сировину, і на споживача, і на трудові ресурси. Це пов'язане з тим, що виробництво сучасних машин вимагає не тільки наявності металу, але й високої кваліфікації працюючих і наявності платоспроможного споживача. Розвинена транспортна система регіону є передумовою спеціалізації й кооперування машинобудівних підприємств.

Розміщення в Україні металомістких галузей машинобудування привело до концентрації в містах тих областей, які є основними виробниками чорних металів. Так, найбільша кількість підприємств концентрується в Донецькій, Дніпропетровській, Луганській й Запорізькій областях. Багато підприємств розміщені в Київській, Харківській, Львівській, Одеській областях, а також у м. Києві, де добре розвинена науково-дослідна база і є достатню кількість кваліфікованих кадрів.

Енергетичне машинобудування, яке спеціалізується на виробництві устаткування для всіх видів електростанцій, у тому числі парових гідравлічних турбін, атомних реакторів, генераторів, казанів, дизельних моторів, електроапаратури, кабелю й іншої продукції, є однією з найважливіших галузей не тільки важкого машинобудування, але й усього машинобудівного комплексу України.

Найбільшим центром енергетичного машинобудування є Харків, у якому розташовані заводи: «Електроважмаш», турбінний завод «Турбоатом», «Електромашина». Названі заводи дають майже половину вартості продукції енергетичного машинобудування України. Самим гігантом галузі є турбінний завод «Турбоатом», який випускає устаткування для всіх видів електростанцій. Його продукція не тільки використовується в Україні, але й надходить на експорт.

Такий стан справ в енергетичному машинобудуванні ставить високі вимоги щодо професійної підготовки фахівців цієї галузі, котра є високо актуальною проблемою сучасної вітчизняної освіти.

1.2. Професійна підготовка фахівців машинобудівної галузі

Фахівець з машинобудування розробляє технічну документацію різних енергетичних і силових машин і устаткування, конструює устаткування, забезпечує його монтаж і налагодження. Здійснює обслуговування й ремонт устаткування.

Предметом праці цих фахівців залежно від спеціалізації можуть бути така техніка, машини й устаткування: автоматизовані гідравлічні й пневматичні системи й агрегати; двигуни внутрішнього згоряння; казани, камери згоряння й парогенератори; газотурбінні, паротурбінні установки й двигуни; газотурбінні агрегати газоперекачуючих станцій; енергетичне устаткування; компресорні й холодильні машини й установки; гідромеханіка, гідромашини й гідро пневмоавтоматика; авіаційні двигуни й енергетичні установки; казани, камери згоряння й парогенератори АЕС; поршневі й комбіновані двигуни внутрішнього згоряння; енергоустановки для транспорту й малої енергетики; енергоустановки на основі поновлюваних видів енергії; автоматизовані гідравлічні й пневматичні системи й агрегати; альтернативні джерела енергії транспортних засобів; агрегати й системи керування енергоустановок; гідравлічна, вакуумна й компресорна техніка; тепло- і гідроенергетичні машини й інша аналогічна техніка.

Фахівець з машинобудування може бути затребувана на теплоелектростанціях, на підприємстві з виробництва енергетичних установок, на фірмах і підприємствах, що здійснюють експлуатацію й технічне обслуговування установок із двигунами внутрішнього згоряння.

Одним із актуальних завдань фахівця з машинобудування є впровадження високошвидкісної обробки.

Впровадження високошвидкісної обробки (ВШО) стає ключовим фактором у досягненні успіху. Основна вигода забезпечується тим, що високі режими різання ВШО скорочують час різання й вартість кінцевого виробу. Час виробничого циклу скорочується на 50% і більш. За допомогою ВШО досягається максимальна продуктивність. Крім того, у деяких випадках використання ВШО є єдиним можливим способом обробки деталей.

Раніше дану обробку стримували: різальний інструмент, устаткування, системи ЧПУ. На сьогоднішній день ці проблеми цілком вирішені, і тому ВШО швидко розбудовується й уже досить широко застосовується.

Головною умовою успіху у високошвидкісній обробці може стати правильний вибір усіх складових факторів, що беруть участь у цьому процесі: верстат, система ЧПУ, різальний інструмент, допоміжний інструмент із системою закріплення інструмента, система програмування, кваліфікація технолога-програміста й оператора верстата з ЧПУ. Зневага хоча б однією з цих складових здатна звести нанівець усі попередні зусилля.

Вирішити цю проблему вибору може допомогти імітаційне моделювання процесу.

Імітаційне моделювання (англ. *simulation modeling*) – метод дослідження, при якому досліджувана система замінюється моделлю, з достатньою точністю, що описує реальну систему (побудована модель описує процеси так, як вони проходили б у дійсності), з якої проводяться експерименти з метою одержання інформації про цю систему. Таку модель можна «програти» у часі, як для одного випробування, так і заданої їхньої безлічі. При цьому результати будуть визначатися випадковим характером процесів. За цим даними можна одержати досить стійку статистику. Експериментування з моделлю називають імітацією (імітація – це збагнення суті явища, не прибігаючи до експериментів на реальному об'єкті).

Імітаційне моделювання – це окремий випадок математичного моделювання. Існує клас об'єктів, для яких по різних причинах не розроблені аналітичні моделі, створення аналітичної моделі принципово неможливо, не розроблені методи розв'язання отриманої моделі або розв'язання нестійкі. У цьому випадку аналітична модель замінюється імітатором або імітаційною моделлю.

Відповідно, фахівець з машинобудування має володіти імітаційним моделюванням для вирішення нагальних виробничих проблем.

1.3 Висновки до розділу 1

Отже, зважаючи на затребуваність фахівців в галузі машинобудування, а також актуальність їх підготовки з підвищення точності механічної обробки оптичних полімерів за рахунок удосконалення технологічного процесу робить актуальним розробку факультативного заняття з теми «Удосконалення процесу різання оптичних полімерів для створення раціонального технологічного виробництва» для студентів спеціальності «Професійна освіта. Машинобудування», яку ми представимо у четвертому розділі магістерської кваліфікаційної роботи.

2. ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ВИРОБНИЦТВА ПОЛІМЕРНИХ ВИРОБІВ

У цей час у різних галузях науки й техніки, у тому числі фізиці високих енергій, оптико-волоконному зв'язку, медицині знайшли широке застосування полімерні оптичні вироби, що характеризуються широкою номенклатурою.

Існуючі типи сучасних оптичних виробів виходять, як правило, шляхом механічної обробки, яка формує остаточні функціональні характеристики виробу.

У розділі представлений літературний огляд технологічних особливостей виробництва виробів полімерної оптики.

2.1 Застосування оптичних полімерів

Прозорі термопласти — матеріали на основі полімерів, які є оптично прозорими й здатні здобувати задану форму після переробки (нагріванні й подальшого лиття в різноманітні форми під тиском або екструзії з одержанням профільних виробів). Вони можуть містити наповнювачі, пластифікатори, стабілізатори, пігменти, змащення й інші компоненти. Завдяки цьому полімери знаходять широке застосування у виготовленні виробів різного призначення. Так, введенням наповнювачів можна одержати матеріал, що частково пропускає світло, що й розсіює. Це дозволяє використовувати дані матеріали у світлотехнічних виробках. Найважливішими представниками прозорих термопластів є полістирол (ПС), поліметилметакрилат (ПММА), стіролакрілонітріл (САН) і полікарбонат (ПК).

За останнє десятиліття значно зросло застосування пластмасових сцинтиляторів у фізику високих енергій, що в значній мірі пов'язане з винаходом і успішним виробництвом спектрзміщуючих і транспортних оптичних волокон. Сполука пластмасових сцинтиляторів зі спектрзміщуючим волокном дало можливість створювати детектори ніздрюватої структури, у якій число гнізд може становити кілька десятків

тисяч, а загальна вага детектора – десятки тонн. Елементарне гніздо такого детектора являє собою пластинку (*Tile*) товщиною порядку сантиметра зі сторонами до 0,5 м зі спектрозміщаючим волокном. Загальна кількість пластмасових сцинтиляторів, використовуваних у цих обладнаннях, обчислюється десятками тисяч і десятками тонн. Так, наприклад, до складу детектора CMS входить близько 20000 тайлов загальною площею 4000 м² і вагою 16 т. Приблизно таке ж кількість утримується в складі установки LHCb. Тайл – калориметр ATLAS повністю виготовлений із пластмасових сцинтиляторів і складається з 460 тисяч тайлов, вага яких перевищує 58 т [1, 2].

Виготовлення оптичних полімерних виробів для створення детекторів прискорювачів елементарних часток, виробів оптико-волоконного зв'язку, діагностичної медичної апаратури, сонячних конвекторів, радіаційних дозиметрів ставиться до класу серійного виробництва .

Полістирол посідає четверте місце у світовий таблиці про ранги полімерів – 7,5% світового ринку. Він ставиться до термопластм загальнотехнічного призначення. Володіючи гарними міцнісними властивостями, прозорістю й прекрасним зовнішнім виглядом, полістирол широко використовується у виробництві товарів побутового й культурно-побутового призначення, будівництві, світлотехніці, медичній техніці, рекламі. Оскільки **полістирол** є прекрасним діелектриком, що добре працюють при низьких і високих частотах, він ефективно застосовується в електротехніці, у тому числі для виготовлення тонких орієнтованих конденсаторних плівок.

Технологія виробництва виробів з **полістиролу** розроблена досить глибоко. Він переробляється всіма методами переробки термопластів, добре зварюється й склеюється, сполучається із пластифікаторами, добре офарблюється. Його переробляють литтям під тиском при 190-230 °С и температурі ливарних форм 50-60 °С и екструзією при 130-190 °С. **Полістирол** використовують як конструкційний матеріал замість дерева й металів для виготовлення корпусів приладів і апаратів, об'ємних деталей побутових і

промислових холодильників, контейнерів, ємностей, сулій, посуду разового користування, меблів, канцтоварів, іграшок, освітлювальних приладів і арматури до них, світлофільтрів, валіз, авторучок, упакування для косметики, візитних карток, кабельної ізоляції.

Для виробництва виробів з оптичних полімерів високої якості необхідно розглянути й вивчити фізико-хімічні властивості оптичних полімерів, наявні технології виробництва полімерних виробів.

нові тенденції, Що намітилися, у технології механічної обробки сцинтиляторів, пов'язані з використанням на заключних технологічних етапах при обробці зовнішніх поверхонь різальних інструмент (однозубих фрез) із природного й синтетичного алмаза, внутрішніх – дрібно розмірного різального інструменту (кінцевих двозубих фрез) зі швидкорізальної сталі, вимагають розуміння фізичних основ процесу різання оптичних сцинтиляційних полімерів і технологічних особливостей механічної обробки.

2.2 Фізико-хімічні властивості оптичних полімерів

Оптичні полімери істотно відрізняються по фізико-хімічних характеристиках від інших прозорих тіл, наприклад, таких як кристали й неорганічні стекла, що й визначає характер взаємодії випромінювання з полімерною речовиною, механізми оптичних втрат і також механізми фотохімічного руйнування.

Відмітною ознакою всіх оптичних матеріалів є висока прозорість і однорідність [3, 4, 5]. Велике значення має і їх оптична здатність, обумовлена показником переломлення світла.

Показник переломлення часто відіграє вирішальну роль при виборі сполуки полімеру і являє собою один з основних параметрів при розрахунках оптичних систем. Для полімерних матеріалів величина показника оптичного переломлення коливається від 1,33 до 1,71, для порівняння діапазон змін величини показника переломлення для неорганічних стекел більш широкий – 1,44-2,35.

Найбільш важливою характеристикою оптичного матеріалу є його прозорість. При падінні світла на поверхню матеріалу, а також на його виході, відбувається його часткове відбиття променя на границі обох середовищ. Далі відбуваються багаторазові втрати випромінювання за рахунок його абсорбції й розсіювання. Матеріали з високим коефіцієнтом переломлення мають великий коефіцієнт відбиття.

Під оптичною однорідністю розуміють абсолютна сталість показника переломлення в будь-якій крапці оптичного полімеру. Причиною порушення однорідності можуть бути напруги, різниці в структурі й сполучі [3].

Оптичні властивості більшості полімерів залежать від величини прикладеного до них напруги. Чим більше напруга - тим гірше оптичні властивості.

Високі напруги в матеріалі приводить до виникнення тріщин «срібла» у поверхні матеріалу, що приводить до різкого зниження експлуатаційних властивостей.

У таблиці 1.1 наведені основні фізико-механічні властивості полістиролу. Цей матеріал широко використовуються при виробництві полімерних оптичних виробів.

Наявність залежності фізико-хімічних властивостей від температури є одним з недоліків полімерів. При механічній обробці важливо не перевищувати діапазон температур, при яких відбувається склювання і деструкція полімерів (для полістиролу цей діапазон становить 70-90 °C).

Таблиця 2.1 - Фізико-механічні властивості полістиролу

Параметр	Полістирол
Щільність (ρ), г/см ³	1,05-1,10
Твердість по Бринелю (H_B), МПа	140-190
Теплоємність (C_v), Дж/г·К	1,2-1,4
Теплопровідність (λ), Вт/г·К	0,08-0,14
Теплостійкість по Мартенсу, °C	70-80
Міцність при розтяганні (σ_p), МПа	30-50
Міцність при розтяганні при $t = 80^\circ \text{C}$, (σ_p), МПа	8-10
Міцність при стиску (σ_c), МПа	80-110
Модуль пружності (E_p), МПа	2800

Параметр	Полістирол
Ударна в'язкість, кДж/м ²	16-22
Показник переломлення (nd^{20})	1,59
Пропущення світла, %, (товщина в мм)	85-90 (2)
Фотопружна постійна ($C_{Бр}$) · 107, см ² /кг	5,7
Коефіцієнт лінійного розширення (α) · 105, К ⁻¹	6-9
Питомий електричний опір, Ом	101-1017

Літературні джерела показують, що висока якість оптичних полімерів забезпечується:

- молекулярно-хімічним складом;
- наявністю аморфної структури й укр. малою кількістю домішок;
- відсутністю внутрішніх і зовнішніх напруг у полімерному матеріалі в процесі його одержання;

2.3 Технологія виробництва полімерних заготовок

При виробництві виробів з оптичних полімерів широко використовуються наступні технології:

- «скляна» технологія (метод полімеризації між стекол);
- екструзійний метод (метод лиття під тиском);
- блокова полімеризація.

Метод полімеризації між стекол є на даний момент найпоширенішим [6, 7]. Для виробів невеликої товщини, зокрема, для виготовлення пластин більших розмірів невеликої товщини (від 2 до 10 мм) з мінімальною шорсткістю поверхні й високими оптичними властивостями він підходить як не можна краще. Такий спосіб має ряд переваг:

- одержання полімерних виробів з “дзеркальним” якістю поверхні (шорсткість поверхні $R_a \leq 0,03$ мкм), що характеризуються високим коефіцієнтом внутрішнього відбиття;
- поверхня, сформована методом полімеризації між стекол, не вимагає додаткової обробки на формування робочих поверхонь, звідси скорочення витрат на механічну обробку й, отже, мінімальні витрати матеріалу;
- висока продуктивність технологічного процесу.

До недоліків цього методу можна віднести:

- технологічні складності при її використанні, викликані адгезією полістиролу до скла, що при розніманні пластин приводить до когезійного розриву по матеріалу;
- високою здатністю полімеризацією суміші «стирол-полістирол» до утвору міхурів при підвищених температурах;
- складність і висока вартість апаратури, необхідність точного дотримання технологічних режимів (навіть незначне його порушення може привести до різкого підвищення кількості браку – до 20%) [8].

Розглянуту технологію можна, представити в такий спосіб:

- підготовка сировини (для запобігання полімеризаційних окисних процесів, що інтенсивно протікають при підвищених температурах, операції перегонки, готування розчину проводять у вакуумі або в захисному середовищі);
- підготовка скляної форми;
- заповнення форми поляризаційною сумішшю;
- полімеризація у формі. У НТК «Інститут Монокристалів» [9] виготовлена спеціальна скляна форма рис.1.1, яка складається із двох паралельних полірованих силікатних стекол із прокладками між ними. Скло закріплюється на рамці, виконаній з дерева або нержавіючої сталі з канавками на торцях для ущільнювача. Потім відбувається відпал пластини в спеціальній формі і розбирання скляної форми та вилучення пластику.

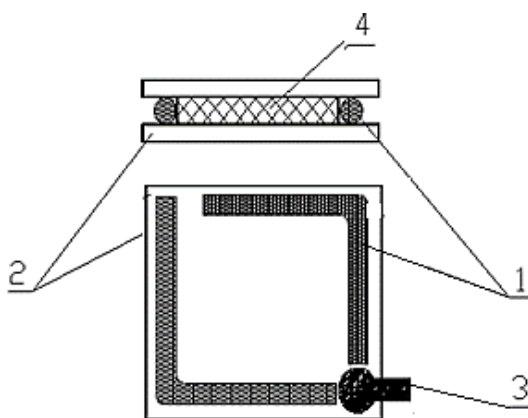


Рисунок 2.1 - Форма для полімеризації між склом:

1- прокладка; 2- пластини силікатних стекол; 3- струбцини; 4- виріб

Розглянуті основні принципи й особливості технології полімеризації між стекол показують, що одержувані в результаті даної технології поверхні мають шорсткість $R_a = 0,03$ мкм, характеризуються високим коефіцієнтом внутрішнього відбиття, що обмежують її застосування фактором виступають лише товщина одержуваних виробів (до 10 мм). Даний спосіб вимагає використання мінімальної кількості операцій.

Одним з найбільш ефективних і дешевих методів виготовлення мало відповідальних однотипних полістирольних виробів при масовому виробництві є *метод лиття під тиском*.

Перевагою даного методу є висока продуктивність [10]. До недоліків цього методу можна віднести:

- низька прозорість пластин;
- низька лінійна точність;
- неможливість виготовлення пластин більших розмірів;
- високі витрати на підготовку сировини й дорожнеча виробничого встаткування.

На рис. 2.2 показаний принцип дії плунжерної ливарної машини. Гранули полімеру із завантажувальної лійки захоплюються плунжером і продавлюються через нагрітий циліндр, де полімер розплавляється. Нагрівання полегшує вбудована в передню частину циліндра "торпеда". Після розплавлювання полімер через знімне сопло продавлюється у форму. При зворотному русі плунжера відбувається забір нової порції полімеру, і потім цикл повторюється. Крім основного вузла лиття ливарна машина має вузол змикання форми разом з виштовхувачем готового виробу. Більші ливарні машини постачені також дозатором, що відміряють порцію полімеру на один цикл роботи машини.

Важливими технологічними факторами, що впливають на якість одержуваних оптичних виробів, є температура й тиск лиття, швидкість заповнення форми матеріалом, умови охолодження матеріалу у формі.

У процесі контролю виробів установлене, що відлиті деталі мають високі внутрішні напруження, оптичну неоднорідність. Відлиті лінзи мають високе

жолоблення, що досягає 3 мм і більш. Також у литих полімерних деталях на лінії стику потоків матеріалу при заповненні розплавом прес-форми утворюються звили. Через перераховані недоліки розглянутий метод лиття під тиском практично не знайшов поширення для виробництва оптичних виробів.

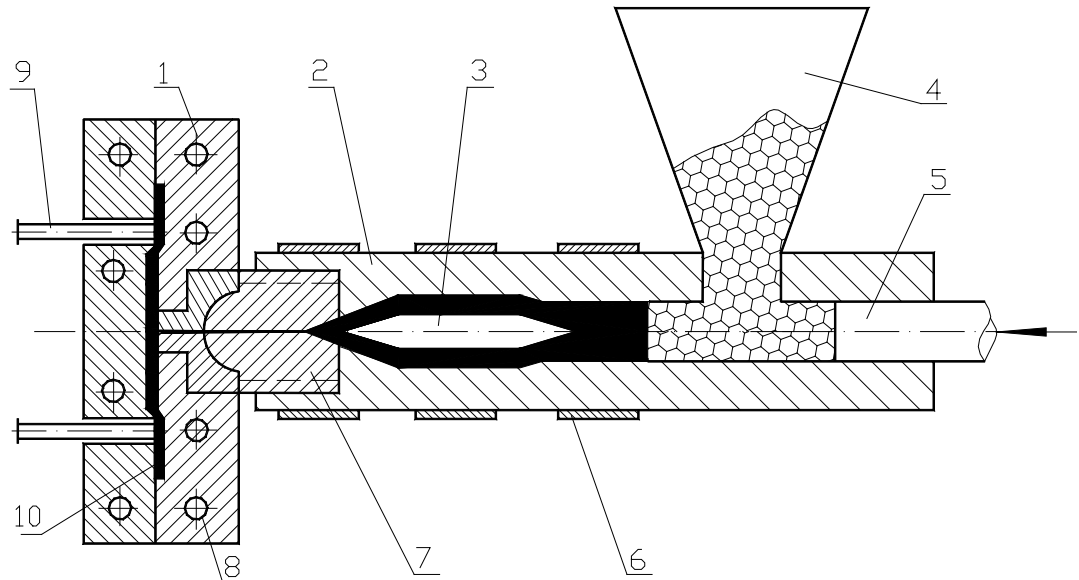


Рисунок 2.2 - Схема плунжерної ливарної машини:

- 1 – форма; 2 – циліндр; 3 – торпеда; 4 – завантажувальна лійка; 5 – плунжер;
6 – нагрівач; 7 – сопло; 8 – охолодження форми; 9 – виштовхувач;
10 – виріб.

Метод блокової полімеризації використовується для виготовлення великогабаритних полімерних пластин і заготовок з рівномірним розподілом люмінесцентних добавок по всьому об'єму, а також з оптимальними значеннями середньо молекулярної маси й молекулярно-масовим розподілом.

Метод заснований на методі вільно радикальної полімеризації стиролу в масі з наступної механічною обробкою заготовки [11].

Найбільш важливими факторами при одержанні полістирольних пластин високої якості є: глибока дегазація й виключення доступу кисню до реакційної суміші; температурний режим процесу полімеризації стиролу; режим віджигу, що забезпечує максимально можливе видалення залишкового мономера й зняття внутрішніх напружень у готовому блоці.

До основних операціям технологічної схеми одержання великогабаритних полістирольних заготовок методом блокової полімеризації ставляться:

- підготовка стиrolу й люмінесцентних добавок із вхідним контролем якості сировини;
 - розчинення добавок у стиrolі в струмені інертного газу;
 - вакумування розчину;
 - прогрівання ампули в полімеризаторі й продувка її інертним газом;
 - мікрофільтрація розчину; заповнення форми в струмені інертного газу;
- початковий етап полімеризації (температура 110-130°C);
- повторна глибока дегазація методом регульованого кипіння;
 - заключна стадія полімеризації (температура 150-160°C);
 - віджиг;
 - вилучення заготовок.

На рис. 2.3 представлена схема методу блокової полімеризації, яка включає послідовність операцій повного технологічного циклу одержання полімерних заготовок.

Даним методом можуть бути отримані полімери із широким набором фізико-хімічних характеристик, тому що залежно від умов синтезу, виходять полімери з різною молекулярною масою, сполукою, а також розмірами й структурою надмолекулярних утворів.

Найпоширенішим методом формоутворення оптичних виробів, отриманих методом блокової полімеризації, є обробка різанням. Вона здатна забезпечити стабільно високі світлові характеристики при максимальних строках експлуатації, тобто одержувати вироби високої якості, що володіють новим рівнем функціональних властивостей.

Виготовлення оптичних полімерних виробів для створення детекторів прискорювачів елементарних часток, виробів оптико-волоконного зв'язку, діагностичної медичної апаратури, сонячних конвекторів, радіаційних дозиметрів ставиться до класу серійного виробництва.

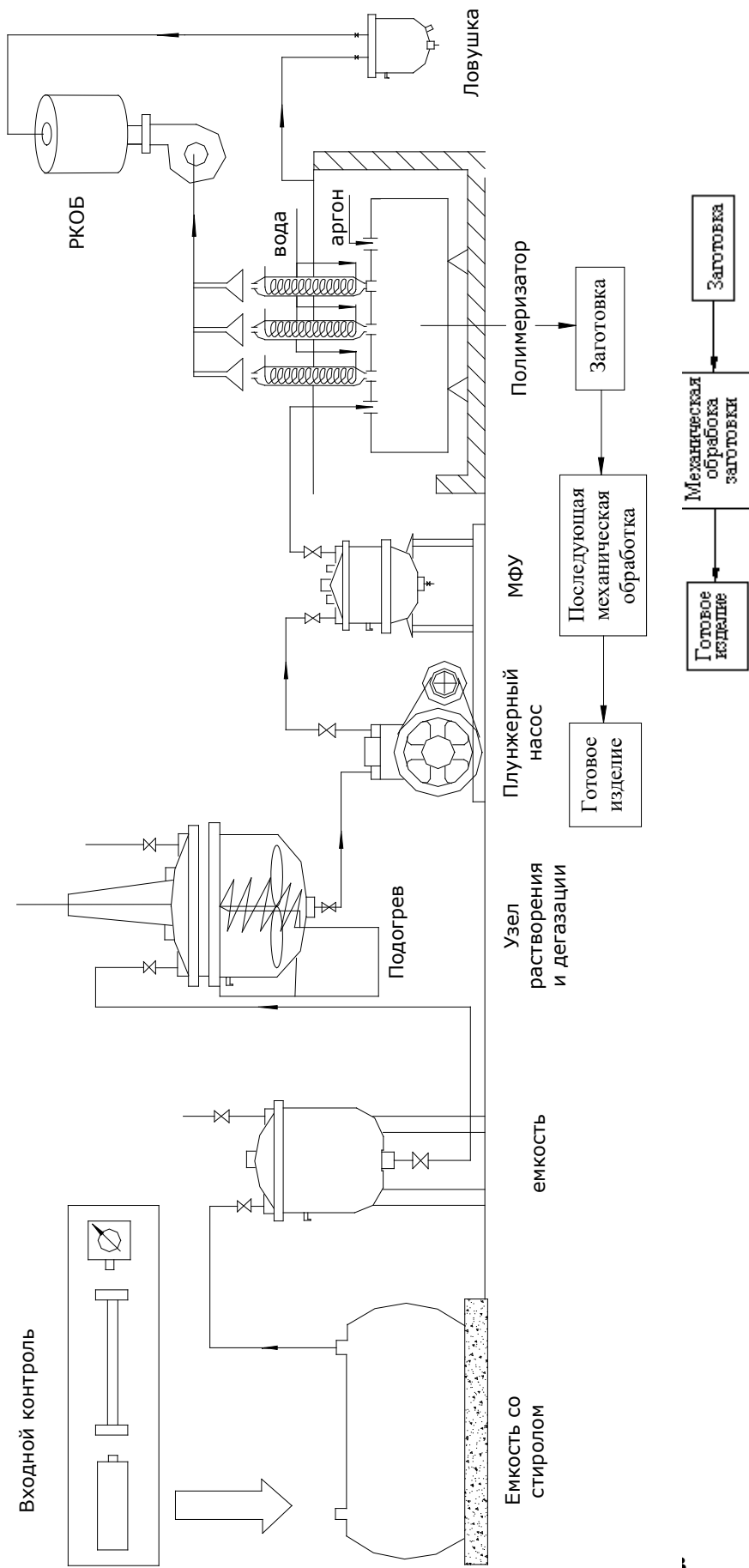


Рисунок 2.3 – Схема виробництва блочного полістиролу періодичним методом в металевій ампулі, з наступною механічною обробкою

Для забезпечення високої якості обробленої поверхні й стабільності експлуатаційних характеристик готових виробів з полімерної оптики найбільше широко використовуваним технологічним процесом формування вихідних геометричних параметрів і якості поверхневого шару є обробка різанням (різання, точіння, фрезерування, свердління й т.п.). Залежно від виду виробу, визначають маршрути лезової обробки поверхонь. Лезова обробка забезпечує необхідну розмірну точність. Послідовність операцій залежить від матеріалу, способу одержання заготовки й геометричного виду деталі, вимог до точності й шорсткості поверхонь.

Для виконання операцій найчастіше необхідне застосування декількох верстатів, різних інструментів і пристосувань. Для поліпшення якості різання й видалення стружки застосовують різні види змащувальних охолодних технологічних середовищ (ЗОТС).

Спеціальні вимоги до високої якості поверхневого шару (його мінімальна дефектність, обмеження по температурі в зоні контакту з різцем (80°C) і низький рівень шорсткості $R_a = 0,04 - 0,06 \text{ мкм}$), визначають необхідність обробки з відносно низкою ($v < 30 - 50 \text{ м/хв}$) або великий ($v > 1000 \text{ м/хв}$) швидкостями різання й малим перетином зрізу (подача $s_0 < 0,01 \text{ мм/об}$, глибина різання $t = 0,3 \text{ мм}$) на фінішних операціях [8].

На чорнових операціях лезової обробки при зниженні вимог до якості поверхні можливе застосування високих швидкостей різання (v понад 50 м/хв) з одночасним збільшенням перетину зрізу ($s_0 < 0,03 - 0,05 \text{ мм/об}$, $t = 0,5 - 2,0 \text{ мм}$) і з обов'язковим застосуванням ЗОТС, як правило, у вигляді повітряного середовища [8].

Значні габаритні розміри, наявність складних внутрішніх контурів під світловоди, отворів з високою точністю позиціонування вимагають застосування високоточного або прецизійного встаткування (верстатів, інструмента, оснащення).

Механіка різання полімерів є основною ланкою, що визначають деформаційні й контактні процеси в зоні обробки. Ріжучий клин інструмента,

впроваджуючись у полімерну заготовку, робить спрямоване руйнування матеріалу в об'ємі шару, що знімається. Наслідком цього є розриви хімічних зв'язків полімеру, що приводять до виникнення вільних радикалів з наступною їхньою рекомбінацією, зародженням, ростом і наступним злиттям мікротріщин у магістральні тріщини.

Порушення структури полімерного матеріалу приводить до появи люмінесценції (фотоемісії), яку можна розглядати як об'єктивний показник процесів мікро руйнування, що відбуваються в зоні різання.

У роботі [12, 13] установлений вплив швидкості різання на характер руйнування полімерних оптичних матеріалів:

- мінімальні значення сил різання й інтенсивності механолюмінесценції відповідають малим швидкостям різання;

- збільшення швидкості до $60 \div 80$ м/хв не приводить до значного росту інтенсивності фотонів, а швидкості вище 80 м/хв ведуть до збільшення механолюмінесценції, сила різання при цьому змінюється незначно;

- в інтервалі $V = 100 \div 500$ м/хв відбувається утвор тріщини на околицях ріжучого клина, яка легко рухається через мікротріщини, що сформувалися в матеріалі мікропори й, що приводить до виникнення великої кількості тріщин, погіршенню поверхневого шару й зниженню міцності за рахунок сукупності мікротріщин;

- збільшення швидкості понад 1000 м/хв приводить до зниження інтенсивності механолюмінесценції й виникають сприятливі умови для мікроруйнування шару, що зрізується, полімеру.

При збільшенні глибини різання спостерігається значний ріст інтенсивності механолюмінесценції й сил різання. На малих глибинах різання ($t \leq 0,3$ мм) руйнування матеріалу йде за рахунок прослизання ланцюгів макромолекул без утвору мікротріщин. Збільшення глибини різання приводить до росту напруг у зоні деформації і як наслідок, утвору сітки розгалужених мікротріщин.

Авторами [12] вивчена мікромеханіка різання полімерів на малих і середніх швидкостях різання. На рис.2.4 графічно представлені отримані ними результати.

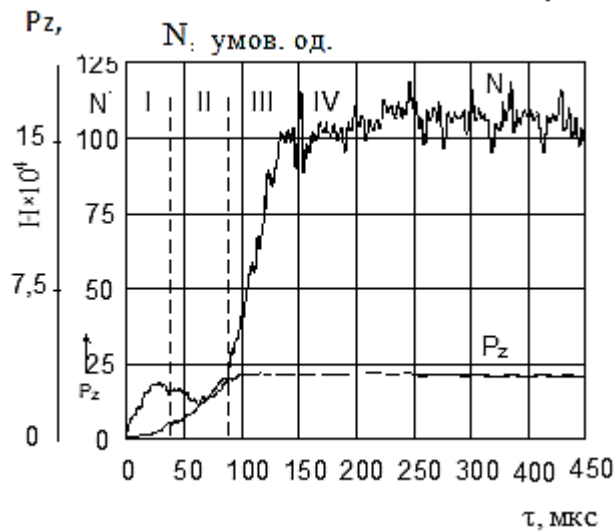
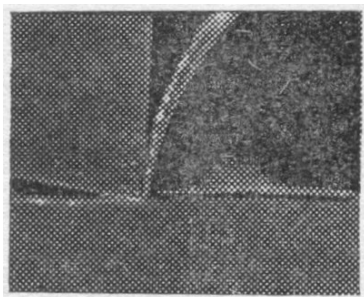


Рис. 2.4 - Вплив тривалості різання на інтенсивність механолюмінесценції й силу різання [77]. Умови: швидкість – $V = 60$ м/хв; глибина – $t = 0,2$ мм

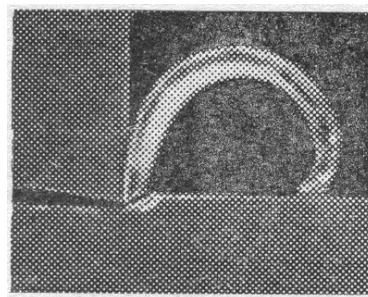
Після впровадження ріжучого клина в заготовку відбувається лінійний ріст сили ($P_z = 4 - 10$ Н), викликаний процесом субмікро руйнування матеріалу. Продовження збільшення навантаження приводить до того, що частина макромолекул, що перебувають у деформованому стані, зруйнуються. Збільшення макромолекул, що розірвалися, приводить до появи мікропор, об'єднання яких приводить до виникнення мікротріщин.

Потім спостерігається посилений лінійний ріст сили різання й незначне зниження інтенсивності фотоemisії. Відбувається часткове об'єднання мікротріщин, що з'явилися, у макротріщини, створюються умови для спрямованого руйнування шару матеріалу, процес різання стабілізується – сила різання практично не змінюється, а механолюмінесценція коливається у вузькому інтервалі, що пояснюється утвором нових мікро – і макротріщин. Даний етап відіграє головну роль при формуванні оптичної поверхні. Якісний поверхневий шар ми одержуємо при невеликих силі різання й коливаннях величини механолюмінесценції.

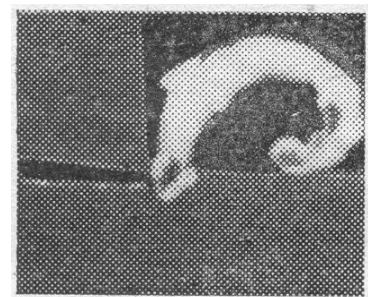
У роботі Кобаяши А. [1] представлений великий експериментальний матеріал по дослідженню стружки, що утворюється в процесі різання полістиролу. За допомогою швидкісної кінокамери зняті можливі типи стружки полістиролу (рис. 2.5). Безперервна зливальна стружка зрушення утворюється при значеннях переднього кута, що лежать в інтервалі $0 \div 20^\circ$ (рис.2.5, а), при низьких і високих швидкостях і малих глибинах різання. Дані умови обробки полімерів сприяють формуванню високої якості обробленої поверхні. Однак стружка стає переривчастою із тріщинами, коли глибина різання збільшується або передній кут різця негативний (рис.2.5, б), що приводить до порушення вихідного поверхневого шару оптичного полімерного виробу. Якщо ж обробку вести різцем з більшими значеннями негативного переднього кута, то замість безперервної стружки утворюється елементна стружка сколювання (рис.2.5, в). При цих умовах на обробленій поверхні виникають тріщини й каверни, а також спостерігається оплавлення полімеру.



а)



б)



в)

Рисунок 2.5 - Типи стружки, що утворюється при різанні полістиролу залежно від переднього кута γ° [42]

Також у дослідженнях, проведених Кобаяши А. отримане, що сила різання P_z , а також складова P_y зменшуються при переході від негативного переднього кута різального інструменту до позитивного (рис.2.6, а, б).

Характеристики мікро- і макрогеометрії полімерних виробів також у значній мірі визначаються динамічною стійкістю технологічної системи [12].

Особливі фізико-хімічні властивості оптичних полімерів і композицій на їхній основі, а також їх низька твердість, схильність до тріщиноутворенню при

більших навантаженнях, механоактивація хімічних процесів визначають складність формування високої якості поверхневого шару оптичних виробів при прецизійній обробці. Установлене [1, 13, 14], що у зв'язку з низькою теплостійкістю в комбінації з малим коефіцієнтом теплопровідності полімерних оптичних матеріалів, тепловиділення є одним з найважливіших фізичних факторів обробки й від його рівня залежить ступінь термічної деструкції полімерних виробів (термічна деструкція активно розбудовується при температурах понад 80°C і відіграє негативну роль у формуванні поверхневого шару й функціональних властивостей оптичних виробів). Установлене [15, 16], що при обробці на малих швидкостях різання тепловий потік поширюється на значну глибину під обробленою поверхнею заготовки, зачіпаючи на довжині лише невелика ділянка обробленої поверхні (шорсткість перебуває в боковий вівтарях достатньої).

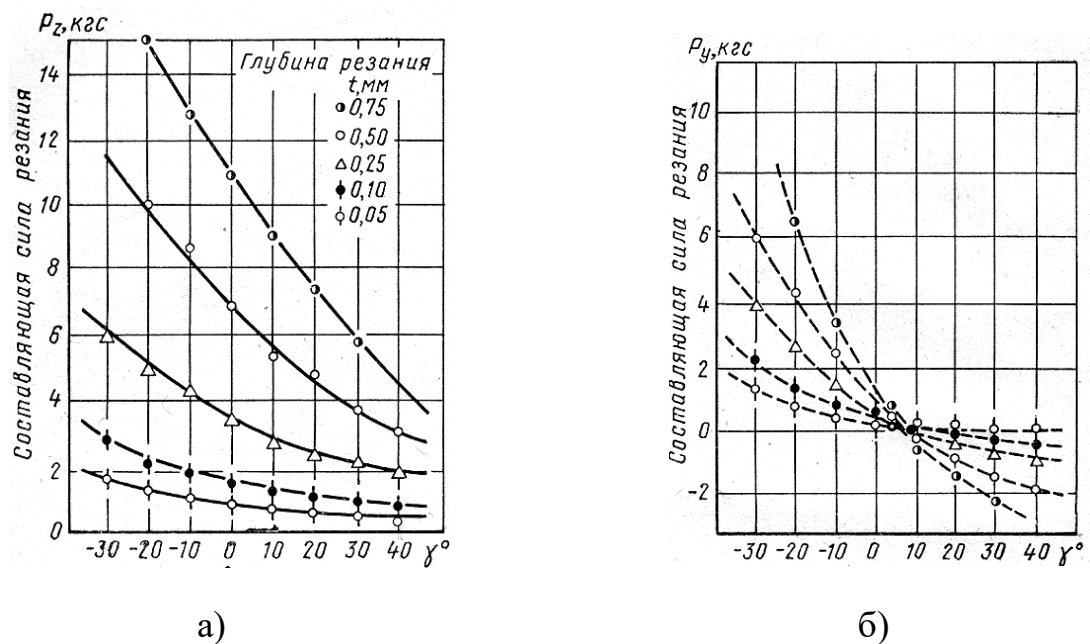


Рисунок 2.6 – Залежність між силами P_z , P_y і переднім кутом різця ($V = 0,8$ м/хв) [42]

Зона середніх швидкостей характеризується інтенсивним зростанням температури, фронт теплової хвилі витягається уздовж напрямку руху подачі. При цьому низька теплопровідність полістиролу обумовлює утворення шару в'язкотекучого полімеру, який внаслідок адсорбційно-адгезійних явищ налипає

на поверхню різального інструменту, значно погіршуючи шорсткість поверхні. При обробці на високих швидкостях різання спостерігається подальший ріст температури, однак, при цьому тепловий потік не встигає глибоко проникнути в шар оброблюваного матеріалу. Тому при прецизійній обробці найбільш кращою є обробка в діапазоні високих швидкостей (швидкості понад 1200 м/хв).

Так само немаловажним фактором залишається температура в зоні різання. Тому що в літературі відсутні, які або узагальнюючі теоретико-експериментальні залежності для визначення температури різання при лезовій обробці оптичних полімерів, то для визначення функціональної залежності температури від варіюваного керування s , v , t використовувалися експериментальні дані про величину температури в зоні різання [17]. У табл. 2.2 представлена експериментальна інформація, необхідна для прогнозування температури в зоні різання залежно від швидкості різання й подачі при обробці полістиролу.

Рівень значень подачі при обробці полімерів повинен перебувати в межах $0,005 \div 0,1$ мм/зуб [12]. При $S > 0,1$ мм/зуб відбувається збільшення температури й значно погіршується шорсткість поверхні. Погіршення оптичної прозорості пов'язане з об'ємним розвитком мікрорельєфу й структурними змінами поверхневого шару. Причиною відсутності прозорості оптичного полімеру служать порушення кінематичного – геометричної проекції мікронерівнощ нижнього ряду.

Таблиця 2.2 - Вплив швидкості й подачі на температуру різання при обробці полістиролу

Швидкість v , м/хв	Подача S , мм/зуб		
	0,01	0,03	0,05
	Температура Θ , °C		
50	80	70	50
250	250	240	220
300	245	220	200
1000	85	75	70

Рівень значень подачі при обробці полімерів повинен перебувати в межах $0,005 \div 0,1$ мм/зуб [12]. При $S > 0,1$ мм/зуб відбувається збільшення температури й значно погіршується шорсткість поверхні. Погіршення оптичної прозорості пов'язане з об'ємним розвитком мікрорельєфу й структурними змінами поверхневого шару. Причиною відсутності прозорості оптичного полімеру служать порушення кинематичного – геометричної проекції мікронерівнощ нижнього ряду.

Вибір різального інструменту відіграє важливу роль у формуванні поверхневого шару полімерних оптичних матеріалів. Для одержання оптичних виробів з високими експлуатаційними показниками, формованими на етапі лезової обробки, до різального інструменту пред'являється ряд вимог [1,18, 19, 20]. До основних належать:

- упорядкована поверхнева структура інструментального матеріалу, що дозволяє забезпечити мінімальний радіус округлення ріжучих крайок і мінімальну шорсткість робочих поверхонь ріжучого клина;
- висока теплопровідність і теплоємність інструментального матеріалу;
- мінімальний коефіцієнт тертя адгезійної взаємодії інструментального і оброблюваного матеріалів;
- зносостійкість (здатність тривалий час зберігати необхідний радіус округлення й геометричні параметри) інструмента.

Враховуючи вимоги, пропоновані до різального інструменту для обробки оптичних матеріалів [21, 13], установлене, що повною мірою ці вимоги реалізує інструмент із вставкою із природного алмаза. Однак з економічних міркувань застосування різального інструменту із природних монокристалічних алмазів доцільно тільки на прецизійних остаточних операціях.

У результаті досліджень, проведених Вerezубом Н.В. і Сенчишиным В.Г. [21, 8], установлений вплив різних інструментальних матеріалів на шорсткість оброблених оптичних полімерних виробів.

Показане, що інструмент із природного алмаза забезпечує необхідні показники шорсткості ($R_a < 0,06$ мкм) поверхні. Залежність $R_a = f(V)$ для всіх інструментальних матеріалів носить яскраво виражений параболічний характер, і відхилення від оптимуму приводить до погіршення якості обробленої поверхні. Для синтетичного (доведений АСПК) і природного алмаза параметр R_a перебуває в рамках припустимих значень шорсткості ($R_a \leq 0,06$ мкм) в інтервалах швидкостей 1500 – 2000 м/хв.

При механічній обробці полімерів з порушеною структурою відбувається модифікація надмолекулярної структури й властивостей матеріалу, що приводить до зміни експлуатаційних характеристик (зниженню коефіцієнта внутрішнього відбиття й довговічності). Отже, для того щоб одержати оптичний виріб з високими функціональними характеристиками, після механічної обробки, необхідна наявність гарної вихідної структури заготовки полімерного матеріалу, яка формується ще на етапі полімеризації [13].

З даного підрозділу випливає, що найбільш сприятливі умови для формування високої якості поверхневого шару оптичних полімерів при механічній обробці (при якій відсутня термічна деструкція) забезпечуються, як правило, наявністю непорушеної структури заготовки полімерного матеріалу, різальним інструментом із природного алмаза, у зоні низьких і високих швидкостей різання з мінімальним перетином зрізу.

Проведений літературний огляд показав на відсутність у літературі даних про вплив технологічних факторів на якість поверхні оптичних матеріалів. Так відсутні відомості про роль особливостей кріплення полімерних заготовок при механічній обробці, параметрах точності оброблюваних заготовок, ролі силового фактора на деформації й напруг, що виникають у заготовках. Вище перераховані характеристики будуть предметом дослідження в представленій дипломній роботі.

3. СТРУЖКОУТВОРЕННЯ Й СИЛА РІЗАННЯ ПРИ ОБРОБЦІ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ

У даному розділі представлена модель механіки різання полімерних матеріалів при утворі безперервної зливальної стружки.

В основі сучасної вистави про механізм стружкоутворення лежать теоретичні положення й результати досліджень ряду вітчизняних і закордонних учених: Тіму І.А., Зворикіна К.А., Зорева Н.Н., М. Мерчанта, А. Кобаяши, Дж. Армарега й інших [22, 23, 24, 25]. Комплексне вивчення механіки різання на мікро- і макрорівнях дозволяє розробити експериментально-аналітичні моделі й силові закономірності процесу, прогнозувати параметри обробки, характеристики точності і якості поверхневого шару оптичних полімерних виробів [13].

3.1 Механіка різання полімерних оптичних матеріалів

Незважаючи на значні успіхи в описі процесів різання, точний і повний розв'язок питань прогнозування силових характеристик і зони деформації дотепер відсутнє.

Процес перетворення шару, що зрізується, у стружку є одним з основних предметів досліджень у науці про різання матеріалів, оскільки відбиває основні закономірності фізики процесу різання.

3.1.1 Процес стружкоутворення оптичних полімерних матеріалів.

У роботі запропонована модель, що дозволяє прогнозувати деформаційні й силові характеристики процесів лезової обробки полімерів.

Розглянута модель базується на ортогональному (вільному) різанні. Ріжучий клин виконаний зі швидкорізальної сталі Р6М5 з різними передніми кутами ($\gamma = 0^\circ; +10^\circ; +20^\circ$).

Для дослідження зони різання зі стабільною зливальною стружкою були проведені експерименти по вивченню характеру стружкоутворення.

Серед оптичних термопластів полістирол має гіршу оброблюваність. Висока енергоємність процесу, низька стійкість інструмента й низька якість

обробленої поверхні обумовлюють необхідність подальшого вивчення механіки різання полістиролу й пошуку нових технологічних розв'язків для підвищення якості механічної обробки оптичного полістиролу.

У процесі різання полістиролу утворюється стружка трьох видів: безперервна (зливальна), переривчаста сколювання й переривчаста надламу.

Зливальна стружка (рис. 3.1, а) утворюється, коли напруги в площині різання менше, чим граничні напруги руйнування. Товщина стружки, звичайно, більше глибини різання внаслідок високої пластичності оптичних полімерних матеріалів. Це загальна риса для більшості матеріалів, які дають зливальну стружку. Утвор такої стружки приводить до високої якості обробленої поверхні.

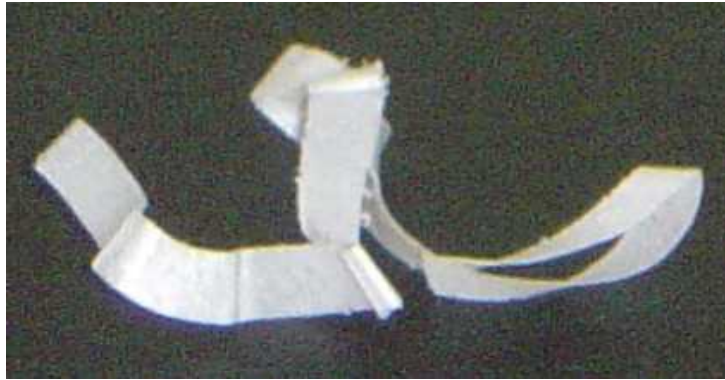
Полімерна переривчаста стружка відколу (рис. 3.1, б) утворюється, коли напруга різання в площині різання стає вище, чим граничні напруги руйнування. Оброблена поверхня дуже груба, точність поверхні незадовільна. Стружка відколу утворюється під впливом моменту обертання, який діє на стружку після надламу навколо крапки інструмента

Переривчаста стружка надламу (рис. 3.1, в) утворюється під дією згинального моменту, що діє на стружку після утвору тріщини, яка виникає навколо крапки інструмента й може мати гострий кут, що зростає по довжині стружки.

Даний тип утвору стружки має характер крихкого руйнування. На обробленій поверхні можна виявити безліч тріщин, що приводить до високої шорсткості й низької точності обробленої поверхні.

Безперервна зливальна стружка є найбільш кращим типом завдяки своїм характеристикам, таким як стабільність сил різання й достатня розмірна точність, висока якість чистової обробки поверхні, вібраційна стійкість у порівнянні з іншими типами стружки. Усі ці параметри процесу обробки впливають на експлуатаційні характеристики оптичних виробів.

Для визначення галузі освіти зливальної стружки для полістиролу були проведені експериментальні дослідження процесу вільного різання при різних умовах обробки.



а)



б)



в)

Рисунок 3.1- Види стружки.

а) безперервна зливальна стружка; б) переривчаста елементна (стружка сколювання); в) переривчаста стружка надламу.

Характерні види стружки при вільному гострінні полістиролу зафіксовані цифровою фотокамерою. Результати дослідження представлені на рис. 3.2. На підставі цих результатів була визначена галузь освіти зливальної стружки, у якій виділена область дослідження, з передніми кутами $0^\circ - 20^\circ$ і глибинами різання до 0.25 мм.

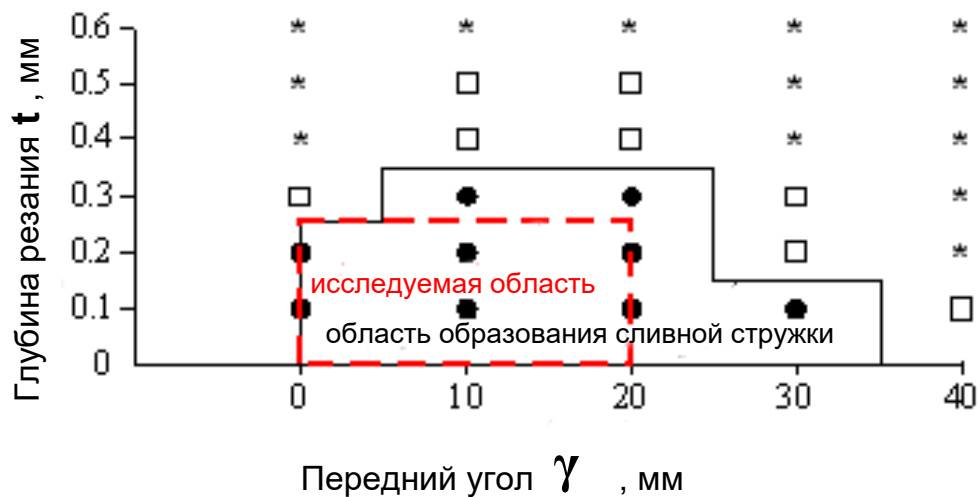


Рисунок 3.2 - Вплив глибини різання й переднього кута на стружкоутворення при обробці полістиролу різанням ($V = 30$ м/хв) (● - Безперервна зливальна стружка; □ - Переривчаста елементна стружка; * - Переривчаста стружка надламу)

Результати проведених досліджень ортогонального різання дозволяють визначити оптимальні умови стружкоутворення при різанні оптичного полістиролу. Експериментальні залежності, отримані в ході дослідження процесу обробки полімерів, якісно зіставляються з результатами, опублікованими для обробки різанням металів. Подібність поведінки основних параметрів режимів обробки при однакових умовах обробки для металів і полімерів дозволяє застосовувати для дослідження модель механіки різання, розроблену Мерчантом - Армарего, як найбільш просту, і, у той же час фізику, що найбільше повно описує, процесів, що відбуваються при різанні полімерних матеріалів. Зокрема, для прогнозування потужності й складових сил різання при різних видах лезової обробки різанням оптичних полімерних матеріалів пропонується використовувати «уніфіковано-узагальнену модель механіки різання».

3.1.2 Модель механіки різання оптичних полімерів

«Уніфіковано-узагальнений аналіз механіки процесу різання» дозволяє визначати сили в різних практичних операціях обробки, моделюючи елементи різця для процесів ортогонального або косого різання, а також шляхом створення бази даних для відповідних комбінацій оброблюваного й інструментального матеріалів. Така база даних містить у собі інформацію про кути зрушення, коефіцієнти тертя, напружі зрушення, коефіцієнтах прірезцових сил, отриманих при експериментальних дослідженнях операцій ортогонального різання [26, 27].

Заснований на уніфікованому аналізі, метод узагальненої механіки різання для прогнозування сил і потужності був розвинений і успішно експериментально перевірений для операцій гостріння, свердління, циліндричного й торцевого фрезерування, а також різання оптичних полімерів, зокрема, полістиролу, інструментами зі швидкорізальної сталі. Даний метод дозволив одержати необхідну інформацію про розподіл тепла в розвиток термальних моделей для прогнозування температур при обробці. Тому що моделі, що прогнозують сили різання для кожної практичної операції, застосовні для будь-якої комбінації інструментального й оброблюваного матеріалів, яка дозволяє одержати безперервну зливальну стружку, додавання в базу даних нової комбінації матеріалів інструмента й заготовки дозволяє прогнозувати для такої комбінації матеріалів сили при різних операціях механічної обробки. Крім того, така база даних дозволяє прогнозувати сили й для інших операцій механічної обробки, за умови що відповідна модель механіки різання й програмне забезпечення розроблені й інтегровані в єдиний пакет, як результат докладного геометричного аналізу операції механічної обробки.

Підхід на основі механіки різання дозволяє прогнозувати значення необхідних технологічних параметрів процесу. Даний метод заснований на прогностичних можливостях аналітичних рівнянь, розроблених для процесів

ортогонального й косокутного різання й застосовуваних для областей лезової операцій механічної обробки (точіння, фрезерування, свердління, різання).

Успішним підходом при моделюванні сил і потужності при різних операціях механічної обробки для ряду матеріалів є уніфіковано – узагальнена модель механіки різання, запропонована Дж. Армареґо.

Розширивши модель М. Мерчанта, Дж. Армареґо показав, що процес утвору зливальної стружки представлений не тільки процесом деформації в площині зрушення разом із процесом тертя поверхонь інструмента й стружки, але також включає третю важливу складову – процес тертя оброблюваного матеріалу за рахунок «розсікання» на ріжучій крайці й радіуса округлення, що приводить до виникнення пріризцевих сил.

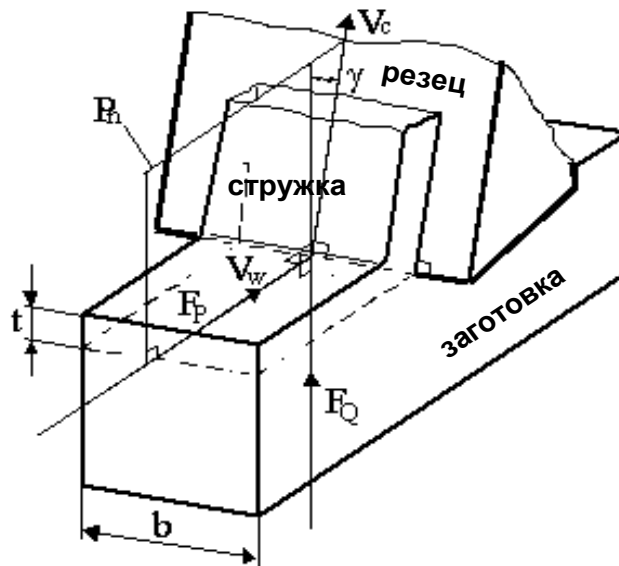


Рисунок 3.3 - Схема «класичного» ортогонального різання.

Таким чином, аналітичні рівняння Армареґо [26, 27] для всіх складових сили різання для операції класичного ортогонального різання виглядають у такий спосіб.

$$F_P = F_{aP} + F_{eP} = \frac{\tau \cdot A \cdot \cos(\beta - \gamma)}{\sin \phi \cdot \cos(\phi + \beta - \gamma)} + C_{eP} \cdot b \quad (3.1)$$

$$F_Q = F_{aQ} + F_{eQ} = \frac{\tau \cdot A \cdot \sin(\beta - \gamma)}{\sin \phi \cdot \cos(\phi + \beta - \gamma)} + C_{eQ} \cdot b \quad (3.2)$$

$$\tan \phi = \frac{r_t \cdot \cos \gamma}{1 - r_t \cdot \sin \gamma}, \quad (3.3)$$

де $F_{aP} (P_{az})$ і $F_{aQ} (P_{ax})$ – нормальна й осьова складові сили різання, прикладені в площині контакту інструмент-стружка (викликані процесами тертя по передній поверхні різця);

$F_{eP} (P_{ez})$ і $F_{eQ} (P_{ez})$ – сили, прикладені до ріжучої крайки (обумовлені впливом мікрогеометрії й радіуса закруглення РК);

A – зона різання ($A = bt$);

r_l – коефіцієнт товщини стружки;

γ – передній кут; ϕ – кут зрушення;

β – кут тертя на передній поверхні;

τ – дотичне напруження зрушення заготовки;

C_{eP} , C_{eQ} – коефіцієнти прірезових сил, прикладених до одиниці довжини РК.

Складові сили різання $F_P (P_z)$ і $F_Q (P_x)$ обмірювані безпосередньо на експериментальній установці за допомогою динамометра.

3.2. Експериментальні дослідження сили різання

Експериментальні дослідження проводилися на токарському верстаті MACSON. Процес ортогонального різання реалізований гострінням краю циліндричної полістирольної заготовки інструментом зі швидкорізальної сталі. Різець установлювався на динамометр, закріплений на різцетримаче верстата. Ріжуча крайка різця встановлювалася посередині краю заготовки, щоб результуюча швидкість різання V_w була перпендикулярна ріжучій крайці, забезпечуючи процес ортогонального різання, з подачею $f(S)$, відповідній до глибини різання t і товщині стінки заготовки, відповідній до ширини шару, що зрізується, b . Товщина стінки оброблюваної заготовки відносно мала (3 мм), у порівнянні з радіусом заготовки (45 мм), що дозволило зневажити зміною результуючої швидкості уздовж активної частини ріжучої крайки.

Різець установлювався на трикомпонентному п'єзоелектричному динамометрі Кистлера. Тангенціальний напрямок руху різця й напрямок руху подачі збігалися по напрямкові з досліджуваними складовими сили різання F_P і F_Q . Електричні імпульси, викликувані дією відповідних складових сили різання, передаються на підсилювачі динамометра, а потім в аналогово-цифровий перетворювач, з'єднаний з комп'ютером. Схема експериментальної установки показана на рис. 3.4.

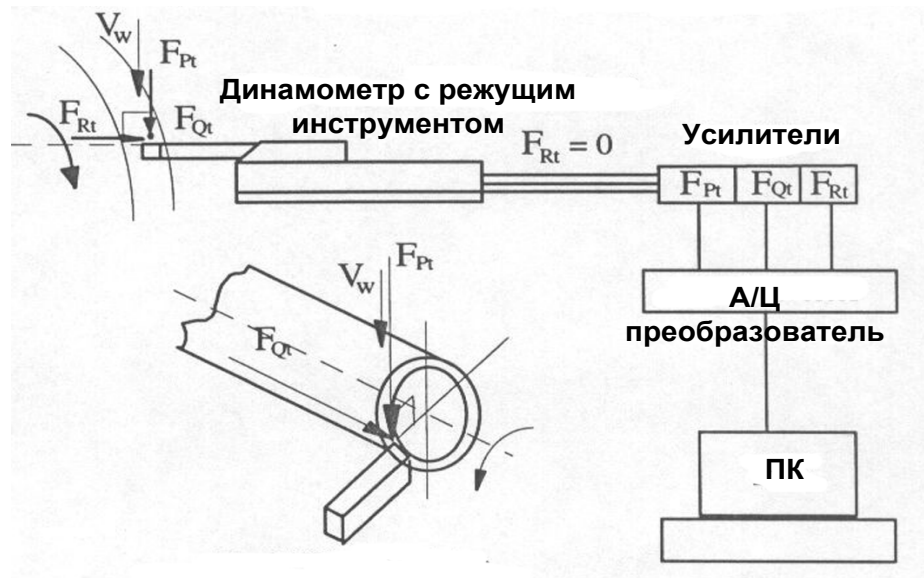


Рисунок 3.4 - Експериментальна установка для дослідження складових сили різання.

У процесі проведення досліджень використовувався інструмент із передніми кутами від 0° до 20° із кроком в 10° для 5 рівнів обробки зі зміною товщини різання t від 0,25 до 3 мм, трьох рівнів швидкості різання V_w від 15 м/хв до 50 м/хв. Для кожного зрізу матеріалу вимірялася усадка стружки по товщині.

На підставі отриманих експериментальних даних представлені часткові залежності впливу глибини різання на головну складову сили різання:

$$P_z = C_p \cdot t^x, \text{ Н} \quad (3.4)$$

$$\text{для } \gamma = 0: P_z = 157 \cdot t^{0,78}, \text{ Н}$$

$$\text{для } \gamma = 10^\circ: P_z = 161 \cdot t^{0,76}, \text{ Н}$$

$$\text{для } \gamma = 20^\circ: P_z = 200 \cdot t^{0,8};$$

У табл. 3.1 наведений вплив глибини різання й переднього кута на складову P_z сили різання.

Таблиця. 3.1 – Вплив глибини різання на складову сили P_z

Значення переднього кута γ°	Глибина різання t , мм				
	0,25	0,5	1	2	3
	Сила P_z , Н				
0	55,2	83,2	139,2	251,2	363,2
10	58,6	88,1	147,1	265,1	383,1
20	70,4	110,4	190,4	350,4	510,4

Грунтуючись на модифікованому аналізі механіки різання, з обмірюваних сил після виділення прірезцових сил були обчислені основні характеристики процесу: r_l , β , τ .

Розглянуті зміни варійованих параметрів і коефіцієнтів, залежно від переднього кута й швидкості різання, а також використана серія простих лінійних регресних рівнянь різноманітного регресного аналізу з рівнем імовірності 95%. Для оцінки статистичних характеристик процесу лінійний регресний аналіз простий і найбільше підходить у даному випадку, на відміну від застосування експонентних рівнянь.

Результатом проведених досліджень стало створення бази даних режимів різання, геометричних параметрів шару, що зрізується, і коефіцієнтів прірезцових сил, що дозволяє прогнозувати сили різання й потужність для широкого кола операцій лезової механічної обробки оптичного полістиролу інструментами зі швидкорізальної сталі.

Статистичний аналіз результатів дозволив одержати регресійні рівняння для аналітичного визначення необхідних параметрів і коефіцієнтів (Табл. 3.2). Очевидно, що швидкість різання відсутнє у рівняннях для коефіцієнта усадки стружки, кута тертя, тому що даний параметр не є статистично важливим для розглянутих процесів обробки.

Таблиця 3.2 - База даних основних параметрів процесу різання й коефіцієнтів прірезцових сил для обробки різанням оптичного полістиролу інструментом зі швидкорізальної сталі.

Коефіцієнт усадки стружки r_t	$0.579 + 0.0047 \cdot \gamma$	$R^2 = 90\%$
Кут тертя β , град.	$45.06 + 1.135 \cdot \gamma$	$R^2 = 96\%$
Дотичне напруження зрушення τ , Н/мм ²	$5.91 - 0.25 \cdot \gamma$	$R^2 = 90\%$
Коефіцієнти прірезцових сил C_{ep} , Н/мм	$6.86 - 0.026 \cdot \gamma - 0.024 \cdot V$	$R^2 = 85\%$
C_{eq} , Н/мм	$1.91 - 0.021 \cdot \gamma - 0.002 \cdot V$	$R^2 = 91\%$
γ [град.], V [м/хв]		

4. КЛАСИФІКАЦІЯ ПОЛІМЕРНИХ ВИРОБІВ І ОСОБЛИВОСТІ КРЕПЛЕННЯ ЗАГОТОВОК У ПРИСТРОЯХ

У розділі представлено класифікацію полімерних виробів на технологічних і конструктивних ознаках, показані основні принципи базування оптичних заготовок, запропоновані розрахунки зусиль і напружень, що виникають при кріпленні заготовок у пристроях.

4.1 Класифікація деталей полімерної оптики

Основний напрямок типізації технологічних процесів, спиралося на класифікацію конструкцій деталей машин, різних за конструктивними формами і розмірами і переслідувало завдання усунути індивідуальність технологічних розробок для кожного випадку механічної обробки заготовок деталей. Такий напрям мало на меті значно спростити систему технічної організації індивідуального і дрібносерійного виробництва і в кінцевому підсумку повинно було до певної міри забезпечити створення додаткових сприятливих передумов для застосування методів великосерійного виробництва.

Класифікація деталей дає можливість спроектувати принципову схему типового технологічного процесу для кожного класу деталей, що відображає послідовність виконання операцій обробки різанням, тип обладнання, принцип базування і наближену трудомісткість при певному випуску деталей.

Не існує абсолютної, повною і завершеною класифікації всіх існуючих деталей машин, тому що конструкції їх різноманітні і, до того ж, постійно розробляються нові. Розробку технології обробки деталей і її здійснення можна спростити за наявності типових технологічних процесів. Тому в кінці 30-х років ХХ ст. Соколовський А.П. [28] створив основи методики типізації технологічних процесів і класифікацію деталей по однотипності технологічних процесів. Всі деталі Соколовський А.П. розділив на 15 класів. Згодом на основі аналізу і критичної переробки цієї класифікації Дем'янюк Ф.С. [29] запропонував свою конструктивно-технологічну класифікацію деталей машин.

В основі класифікації деталей, запропонованої Дем'янюком Ф.С., лежить поділ деталей машин на розмірні групи за габаритними розмірами і масою з розподілом груп на класи. Всі деталі машин він розділив на шість класів:

- I - корпусні деталі;
- II - круглі стрижні (вали);
- III - порожнисті циліндри (втулки);
- IV - диски;
- V - некруглі стрижні (важелі);
- VI - кріпінні деталі.

У даній дипломній роботі розглянуті типові деталі, найбільш часто зустрічаються на виробництві. Для зручності їх розгляду пропонується класифікація на основі запропонованої Дем'янюком Ф.С. (Табл. 4.1).

В основу своєї класифікації проф. Ф. С. Дем'янюк поклав три визначальні чинники: розміри деталі (габарити і маса), її форму і спільність в технології обробки.

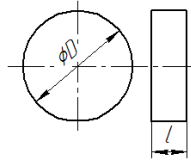
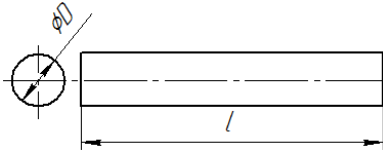
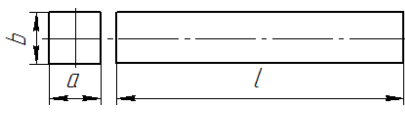
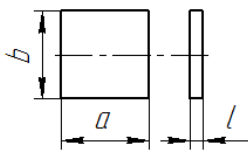
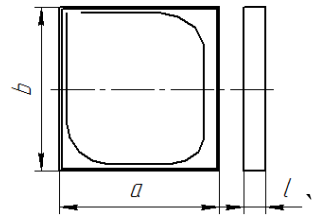
4.2 Основні принципи базування виробів

Розглянемо принципи базування виробів виходячи з розробленої класифікації деталей полімерної оптики (розд. 4.1).

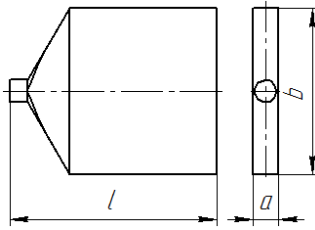
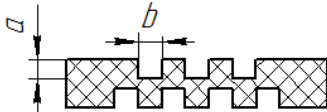
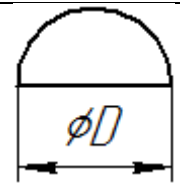
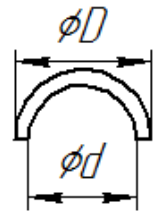
Конструктивна точність обґрунтовується можливостями механічної обробки і умовами отримання вихідної заготовки.

При обробці на верстатах заготовки повинні бути правильно орієнтовані щодо механізмів та вузлів верстата, що визначають траєкторії переміщення ріжучих інструментів. Завдання взаємної орієнтування деталей і складальних одиниць в машинах при їх складанні і заготовок на верстатах при виготовленні деталей вирішуються базуванням [30,31]

Таблиця 4.1 - Класифікація деталей полімерної оптики

Клас	Характеристика	Деталь		Приклад	Розмери (мм)
1	2	3		4	5
Диски	Діаметр диска більше його довжини	Диски ($D > l$)			$D \times l$ $\varnothing 10 \times 5$ $\varnothing 30 \times 15$
Круглі стрижні (вали)	Діаметр вала менше його довжини	Циліндри ($D < l$)			$D \times l$ $\varnothing 150 \times 150$ $\varnothing 50 \times 2000$ $\varnothing 78 \times 1000$
Корпусні деталі	Відрізняються великою різноманітністю форм, розмірів і ваги. Вимагають організації досить складного виробництва	Призми	(a, b) < l		$a \times b \times l$ $150 \times 150 \times 800$
			(a, b) > l		$a \times b \times l$ $20 \times 20 \times 1,5$
		Tile			$a \times b \times l$ $195 \times 195 \times 4$

продовження табл.3.1

1	2	3	4	5
		Didal		$a \times b \times l$ 28×180×225
		Вироби з канавками під світловод		$a = 6$ $b = 5$
Сфери і півсфери	вимагають застосування верстатів з ЧПК для обробки зовнішньої і внутрішньої сфери	півсфери	цілісні півсфери	 $D = \varnothing 1500$
			порожнисті півсфери	 $D = \varnothing 50$ $d = \varnothing 25$

Базуванням називається надання виробу необхідного положення щодо обраної системи координат.

Відомо, що будь-яке тверде тіло має в просторі 6 ступенів свободи щодо обраної системи координат: поступальні рухи по координатним осях і обертальні рухи біля кожної з них. Для забезпечення нерухомості заготовки в обраній системі координат на неї необхідно накласти 6 двосторонніх геометричних зв'язків, для створення яких потрібен комплект баз. Якщо заготовка повинна мати певну кількість ступенів свободи, то відповідне число зв'язків знімається. Наприклад, при обточуванні вала на верстаті його необхідно закріпити і в той же час забезпечувати обертання. Отже, при базуванні вал буде позбавлений тільки 5 ступенів свободи, а шоста ступінь свободи - обертання навколо власної осі - у нього залишається.

Базою може служити поверхня, поєднання поверхонь, вісь, точка, що належать заготовці.

Для додання зокрема призматической заготівлі відповідного положення в обраній системі координат x, y, z слід використовувати комплект баз I, II, III, що утворюють систему координат x', y', z' (рис.4.1)

Вимога: точність базування заготовки залежить від обраної схеми базування, тобто схеми розташування опорних точок на базах заготовки.

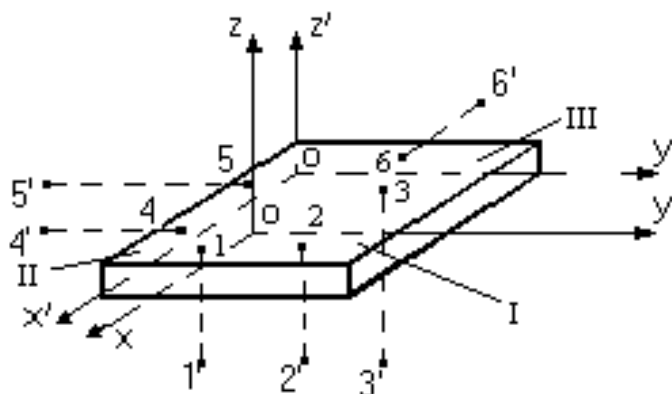


Рисунок 4.1 - Комплект баз I, II, III і опорні точки 1,2,3,4,5,6 з двосторонніми зв'язками призматической заготовки: 1', 2', 3', 4', 5', 6' - проекції опорних точок на координатні площини

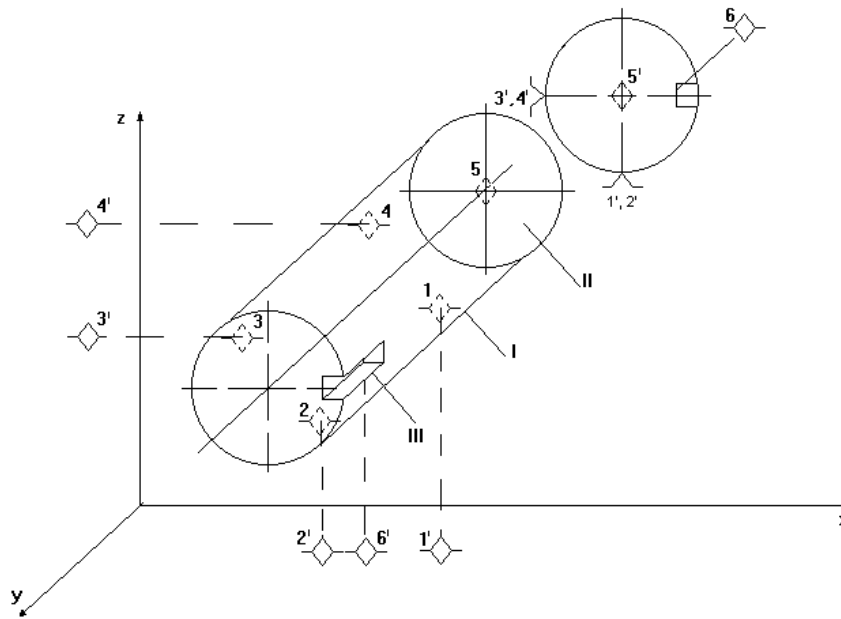


Рисунок 4.2 - Приклад розташування опорних точок на циліндричній заготовці з комплектом баз IV, III, III' (опорна база III' позбавляє заготовку можливості обертання навколо осі Y)

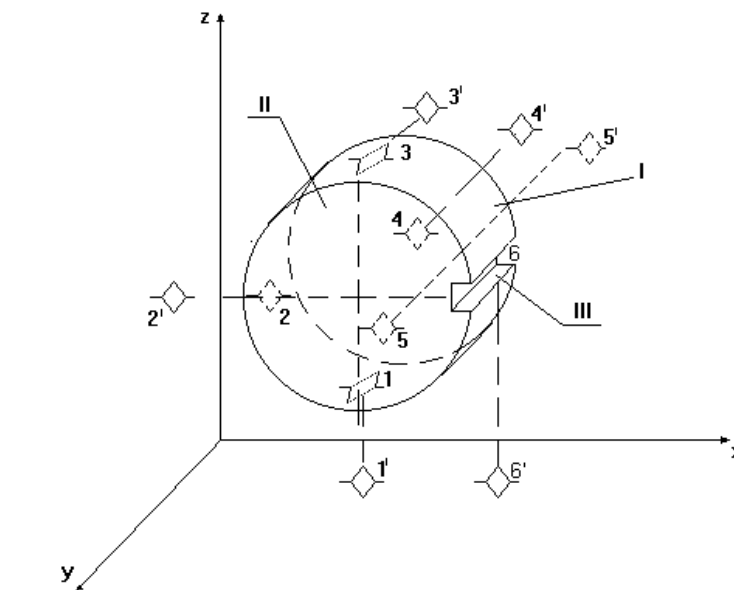


Рисунок 4.3 - Приклад розташування опорних точок на дисковій заготовці з комплектом баз I, V, III'

На першій установці технологічної операції за технологічну базу приймається необроблена поверхня заготовки, так звана чорнова база, яка повинна мати разове використання. За чорнову базу краще прийняти поверхні, розташовані паралельно, перпендикулярно або концентрично технологічній базі.

На наступних стадіях обробки за базу приймають оброблені поверхні заготовки.

За технологічну установчу базу приймається по можливості більша за довжиною і менша по ширині поверхню заготовки, при необхідності допускається штучне збільшення базових поверхонь у вигляді припливів, надставок.

Вибір баз при механічній обробці заготовки слід проводити з урахуванням трьох основних принципів базування: поєднання конструкторської, технологічної та вимірювальної баз, сталість технологічних баз, послідовність баз. Тільки при цьому досягається найвища точність обробки з мінімальною похибкою базування і закріплення.

4.3 Розрахунки зусиль затискача пристосувань

У розділі отримані схеми базування й були зроблені розрахунки сил затискача заготовок у пристосуваннях, а також порівняльний аналіз результатів. Ми розглянули три види затискача деталей з полімерної оптики в пристосуваннях: у лещатах, у патроні трьохкулачковому й вакуумному столі.

4.3.1 Кріплення деталей у лещатах

Лещата верстатні (машинні) призначені для закріплення деталей і заготовок при механічній обробці на верстатах. Як і всі затискні механізми попереджають переміщення заготовок щодо опор верстатного пристосування. Схема базування й установка заготовки в лещатах показана на рис. 4.4.

Схема базування припускає:

1, 2, 3 – настановна база – позбавляє заготовку трьох ступенів волі: переміщення уздовж осі OX і обертання навколо осей OZ і OY ;

4, 5 – подвійна опорна база – позбавляє двох ступенів волі: переміщення уздовж осей OY і OZ ;

6 – опорна база – позбавляє обертання навколо осі OX .

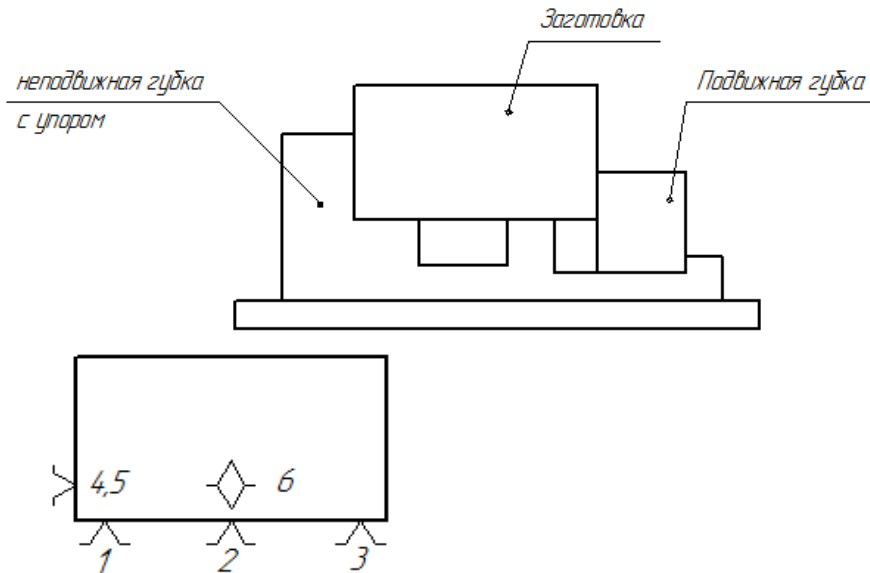


Рисунок 4.4 - Установка й схема базування заготовки в лещатах [30].

Силу закріплення W визначають із умови рівноваги силових факторів, що діють на заготовку. При розрахунках W ураховують силу різання, тертя між заготовкою й пристосуванням, реакції опор. Для розрахунків скористаємося формулою [32]:

$$W = \frac{k * Pz}{f_1 + f_2}, \quad (4.1)$$

де W - сила затискача заготовки,

k - коефіцієнт запасу, який обчислюється по формулі

$k = k_0 * k_1 * k_2 * k_3 * k_4 * k_5 * k_6$, де $k_0=1,5$ - коефіцієнт абсолютного запасу; $k_1=1,2$ при чорновій обробці й $k_1=1$ при чистовій, який ураховує збільшення сил різання через випадкові нерівності; $k_2 = 1$, характеризує збільшення сил різання в наслідок затуплення інструмента; $k_3=1$, збільшення сил різання при переривчастому різанні; $k_4=1,3$, характеризує сталість сили закріплення; $k_5=1$, ураховує ергономіку ручних затискних механізмів; k_6 - ураховують тільки при наявності моментів; $k = 1,5 * 1,2 * 1,0 * 1,3 * 1 = 2,34 < 2,5$, значить ухвалюємо $k=2,5$;

Pz - складова сили різання (див. розділ 3.2);

f_1 і f_2 – коефіцієнти тертя полімеру по металу, рівні $f_1 = f_2 = 0,15$.

При підстановці значень одержимо середнє значення зусилля затискача полімерних заготовок:

$$W = \frac{2,5 \cdot 363}{0,15 + 0,15} = 3027 \text{ Н} \text{ — при чорновій обробці,}$$

$$W = \frac{2,5 \cdot 55}{0,15 + 0,15} = 460 \text{ Н} \text{ — при чистовій обробці.}$$

Отримані дані представимо в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 - Значення зусилля затискача полімерних заготовок у лещатах

Деталі: призми, « <i>didal</i> »	Етап обробки	Складова сили різання P_z , Н	Зусилля затискача деталі W , Н
	чорнова	363	3027
	чистова	55	460

4.3.2 Кріплення деталей у трьохкулачковому патроні

Кулачкові патрони, як і багато інші затискні пристосування, центруються й закріплюються на шпинделях верстатів. Трьохкулачкові патрони набули найбільшого поширення у виробничій практиці як найбільш зручні і надійні для закріплення деталей циліндричної форми (рис. 4.5)

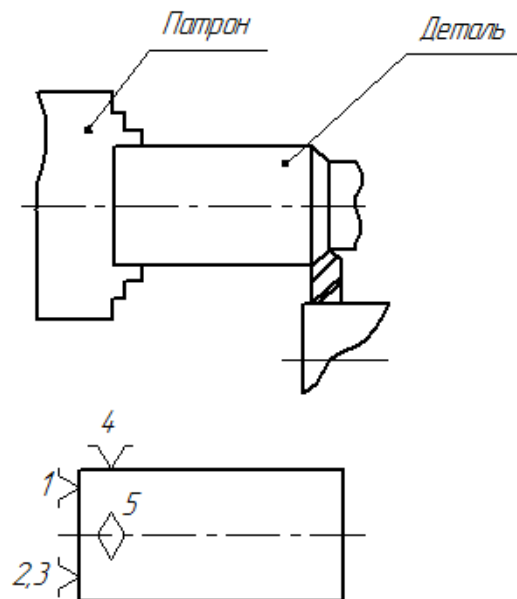


Рисунок 4.5 - Установка й схема базування заготовок у трьохкулачковому патроні, що самоцентрується

Дана схема базування припускає:

1, 2, 3 – настановна база – позбавляє заготовку трьох ступенів волі: переміщення уздовж осі OX і обертання навколо осей OZ і OY ;

4, 5 – подвійна опорна база – позбавляє двох ступенів волі: переміщення уздовж осей OY і OZ ;

Сила затискача одним кулачком при роботі із заднім центром а також при відносно великій довжині затискних губок може бути обчислена по формулі [33]:

$$W_0 = \frac{D_0 * P_z}{D * z * \mu},$$

де W_0 – сила затискача одним кулачком, Н;

D_0 - діаметр обробки;

D – діаметр затискача заготовки;

P_z – складова сили різання;

$\mu = 0,25$ - коефіцієнт зчеплення;

$z = 3$ – число кулачків.

Отже, сила затискача патрона

$$W = \frac{D_0 * P_z}{D * \mu} \quad (4.2)$$

Розрахуємо зусилля затискача на чорнових і чистових операціях при обробці різних деталей (4.2). Для об'єктивного порівняння даних, призначимо ідентичні умови для обробки.

Деталі оброблялися з наступними вхідними параметрами процесу:

матеріал – полістирол, інструмент – різець токарський прохідний, матеріал ріжучого клина – ВК8, передній кут інструмента $\gamma = 0$, $v = 50$ м/хв, $S = 0,03$ мм/про, $t = 3$ мм (чорнова обробка), $t = 0,25$ мм (чистова обробка), що прохолоджує середовище – повітря, головна складова сили різання $P_z = 363$ Н при чорновій обробці $P_z = 55$ Н, при чистовій обробці (див. розд. 3.2). Отримані результати зводимо в таблицю 4.3.

Таблиця 4.3 - Значення зусилля затискача полімерних заготовок у трьохкулачковому патроні

Деталь	Розміри	Етап обробки	Складова сили різання P_z, H	Зусилля затискача деталі W, H
Циліндри	$\varnothing 78 \times 1000$	чорнова	363	1349
		чистова	55	219
	$\varnothing 50 \times 2000$	чорнова	363	1297
		чистова	55	218
	$\varnothing 150 \times 150$	чорнова	363	1397
		чистова	55	220
Диски	$\varnothing 10 \times 5$	чорнова	363	908
		чистова	55	210
	$\varnothing 30 \times 15$	чорнова	363	1210
		чистова	55	217
Півсфери	$\varnothing 1500$	чорнова	363	1447
		чистова	55	220
	$\varnothing 50$	чорнова	363	1297
		чистова	55	218

1. Зусилля затискача для циліндричних деталей рівна:

а) для деталей $\varnothing 78 \times 1000 \text{ мм}$

$$\text{чорнова обробка: } W = \frac{78 \cdot 363}{84 \cdot 0,25} = 1349 \text{ Н;}$$

$$\text{чистова обробка: } W = \frac{78 \cdot 55}{78,5 \cdot 0,25} = 219 \text{ Н;}$$

б) для деталей $\varnothing 50 \times 2000 \text{ мм}$

$$\text{чорнова обробка } W = \frac{50 \cdot 363}{56 \cdot 0,25} = 1297 \text{ Н;}$$

$$\text{чистова обробка: } W = \frac{50 \cdot 55}{50,5 \cdot 0,25} = 218 \text{ Н;}$$

в) для деталей $\varnothing 150 \times 150 \text{ мм}$

$$\text{чорнова обробка: } W = \frac{150 \cdot 363}{156 \cdot 0,25} = 1397 \text{ Н;}$$

$$\text{чистова обробка: } W = \frac{150 \cdot 55}{150,5 \cdot 0,25} = 220 \text{ Н;}$$

2. Зусилля затискача для дискових деталей рівна:

а) для деталей $\varnothing 10 \times 5 \text{ мм}$

$$\text{чорнова обробка: } W = \frac{10 \cdot 363}{16 \cdot 0,25} = 908 \text{ Н;}$$

чистова обробка: $W = \frac{10 \cdot 55}{10,5 \cdot 0,25} = 210 \text{ Н};$

б) для деталей $\varnothing 30 \times 15 \text{ мм}$

чорнова обробка: $W = \frac{30 \cdot 363}{36 \cdot 0,25} = 1210 \text{ Н};$

чистова обробка: $W = \frac{30 \cdot 55}{30,5 \cdot 0,25} = 217 \text{ Н};$

3. Зусилля затискача для напівсферичних деталей рівна:

а) для деталей $\varnothing 1500 \text{ мм}$

чорнова обробка: $W = \frac{1500 \cdot 363}{1506 \cdot 0,25} = 1447 \text{ Н};$

чистова обробка: $W = \frac{1500 \cdot 55}{1500,5 \cdot 0,25} = 220 \text{ Н};$

б) для деталей $\varnothing 50 \text{ мм}$

чорнова обробка: $W = \frac{50 \cdot 363}{56 \cdot 0,25} = 1297 \text{ Н};$

чистова обробка: $W = \frac{50 \cdot 55}{50,5 \cdot 0,25} = 218 \text{ Н};$

4.3.3 Кріплення деталей на вакуумному столі

Вакумні затискні пристрої працюють за принципом використання атмосферного тиску для притиску заготовки. Заготовка встановлюється на плиту, з порожнини стола видаляють повітря й заготовка до плити притискається атмосферним тиском. Герметичність системи забезпечують ущільненням з гумового шнура. Вакумні затискні пристрої застосовують для кріплення заготовок з різних матеріалів із плоскою або криволінійною поверхнею. Сила закріплення достатня для виконання операцій обробки й чистової обробки [34].

Дана схема базування припускає:

1, 2, 3 –технологічна настановна база – позбавляє заготовку трьох ступенів волі: переміщення уздовж осі ОХ і обертання навколо осей ОZ і ОУ. Забезпечить виконання призначеного розміру (висоти деталі).

Для розрахунків сили закріплення ставимо такі умови: вакумне затискне пристосування з робочою поверхнею $190 \times 190 \text{ мм}$; вакумний пристрій створює

тиск в 90% вакуму; заготовка, що закріплюється, закриває повністю робочу поверхню. Отримані дані представимо в таблиці 4.4.

Схема базування заготовки на вакуумному столі має такий вигляд:

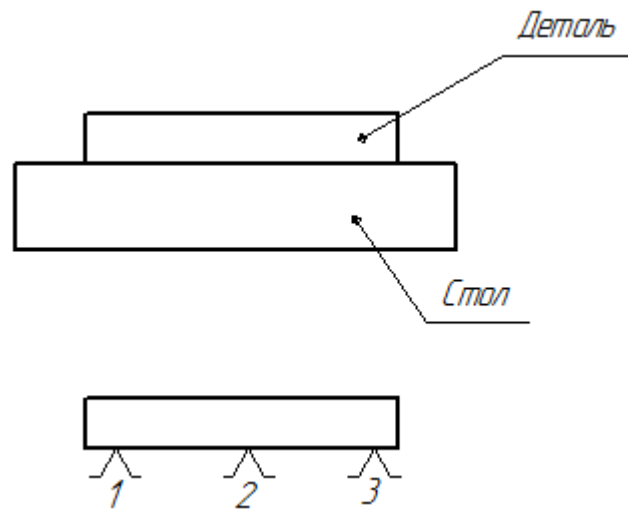


Рисунок 4.6 - Схема базування заготовки на вакуумному столі [31]

Сила, що притискає заготовку до плити:

$$W = P * A, \text{ Н} \quad (4.3)$$

де W - сила затискача заготовки,

P – тиск, створюване вакуумом,

$$P = 1\text{bar} * 0,9 = 101,3\text{кПа} * 0,9 = 91,17\text{кПа} = 91\,170 \text{ Н/м}^2;$$

A – площа робочої поверхні стола,

$$A = 190*190 = 36100 \text{ мм} = 0,361 \text{ м}^2 ;$$

$$W = 91\,170 * 0,361 = 3291 \text{ Н}$$

Дані розрахунки застосовуються до визначення зусилля на відрив заготовки від вакуумного стола. Для розрахунків зусилля заготовки на зрушення необхідно враховувати коефіцієнт тертя заготовки й робочої поверхні вакуумного стола. Наприклад, для тертьових поверхонь полімер – метав коефіцієнт тертя – $K = 0,15$, тобто у нашому випадку зусилля на зрушення буде становити:

$$W' = W * K$$

$$W' = 3291 * 0,15 = 494, \text{ Н}$$

Відповідно, зусилля буде пропорційно зростати/зменшуватися залежно від збільшення/зменшення контактної площі заготовки й вакуумного пристосування.

Таблиця 4.4 - Значення зусилля затискача полімерних заготовок на вакуумному столі

Деталі: <i>tile</i>	Етап обробки	Складова сили різання $P_z, \text{Н}$
	чорнова	363,2
	чистова	55,2
Зусилля затискача деталі на відрив заготовки $W_1, \text{Н}$	3291	
Зусилля затискача на зрушення заготовки $W_2, \text{Н}$	494	

4.4 Розрахунки напруг, що виникають при затисканні деталі пристосуванням

У даному розділі були зроблені розрахунки напруг, що виникають при затисканні деталей пристосуванням і аналіз результатів у порівнянні із припустимими значеннями.

4.4.1 Розрахунки напруг, що виникає при затисканні призматичних деталей.

Установлене [35], що якщо по довжині балки прямокутного поперечного переріза навантаження розподілене безупинно в деякій області, то для простих випадків може використовуватися функція напруг у вигляді поліномів.

Для визначення напруг у прямокутних пластинках, розглянемо випадок, показаний на рис. 4.7, який повною мірою відбиває кріплення заготовки в лещатах.

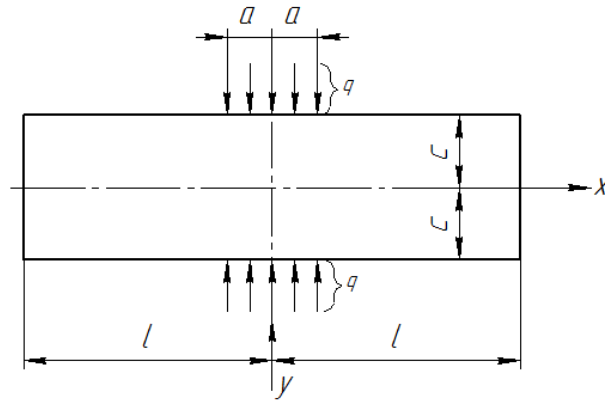


Рисунок 4.7 - Напруга в прямокутних пластинках.

Напруги σ_y визначаються по формулі:

$$\sigma_y = \frac{P}{2 \cdot l} - \frac{P}{l} \sum_{m=1}^{\infty} \left[\frac{m \cdot \pi (y - c)}{l} \cdot (c - y) + 1 \right] \cdot e^{\frac{m \cdot \pi \cdot (y - c)}{l}} \cdot \cos \frac{m \cdot \pi \cdot x}{l}$$

Максимальному значенню напруг відповідає перший доданок. Таким чином, величина напруги для призматичних деталей буде рівна:

$$\sigma_{y_{max}} = \frac{W}{2 \cdot l \cdot b}, \text{ МПа}, \quad (4.6)$$

де $\sigma_{y_{max}}$ – максимальна напруга, що виникає при затискачі деталі пристосуванням;

W – зусилля затискача деталі (див. розділ 3.3);

$2 \cdot l = L$ – довжина деталі, мм;

b – ширина деталі, мм.

Величина максимальних напруг у призматичних заготовках:

а) розрахунки для призми $800 \times 150 \times 150$ при чорновій обробці рівна:

$$\sigma_{y_{max}} = \frac{3027}{800 \cdot 150} = 0,025 \text{ МПа};$$

при чистовій обробці:

$$\sigma_{y_{max}} = \frac{460}{800 \cdot 150} = 0,004 \text{ МПа}$$

б) для деталі “Tile” $195 \times 195 \times 4$ при чорновій обробці:

$$\sigma_{y_{max}} = \frac{3027}{195 \cdot 4} = 3,9 \text{ МПа};$$

при чистовій обробці:

$$\sigma_{y_{max}} = \frac{460}{195 \cdot 4} = 0,59 \text{ МПа};$$

в) для деталі “*Detal*” $28 \times 180 \times 225$ при чорновій обробці:

$$\sigma_{y_{max}} = \frac{3027}{225 \cdot 28} = 0,48 \text{ МПа};$$

при чистовій обробці:

$$\sigma_{y_{max}} = \frac{460}{225 \cdot 28} = 0,073 \text{ МПа}.$$

Отримані дані представимо в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 - Значення величини максимальних напруг у циліндричних заготовках

Деталь	напруга $\sigma_{r_{max}}$, МПа	
	чорнова обр.	чистова обр.
призма $800 \times 150 \times 150$	0,025	0,004
“ <i>Tile</i> ” $195 \times 195 \times 4$	3,9	0,59
“ <i>Detal</i> ” $28 \times 180 \times 225$	0,48	0,073

Проведені розрахунки показують, що рівень напруг, що виникає в заготовках, не досягає критичних значень (10 МПа) і прийнятний для чорнової й чистової обробки.

4.4.2 Розрахунки напруг, що виникає при затискачі циліндричних деталей.

Для розрахунків використовуємо фундаментальний розв'язок [35], називане простим радіальним розподілом напруг. Будь-який елемент ІЗ, розташований на відстані r від крапки додатка сили, зазнає простому стиску в радіальному напрямку. Компоненти напруг для циліндричних деталей визначаються при цьому формулою:

$$\sigma_{r_{max}} = \frac{2 \cdot W}{\pi} \cdot \frac{\cos \theta}{r}, \text{ МПа}, \quad \sigma_{\theta} = \tau_{r\theta} = 0 \quad (4.7)$$

Цей розв'язок вимагає певного розподілу зусиль на іншій частині границі, якщо цією іншою частиною є, наприклад, півколо деякого радіуса R , те необхідна сила визначається формулою (4.7), при $r = R$.

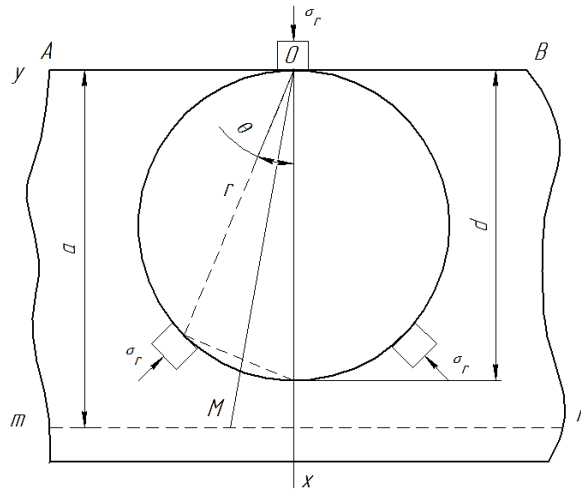


Рисунок 4.8 - Радіальний розподіл напруг

Вибираючи окружність діаметра d із центром на осі X і дотичну до осі y у крапці O (рис.4.8), для будь-якої крапки окружності C маємо $d \cos \theta = r$. Звідси, згідно з рівнянням (3.7):

$$\sigma_{r_{max}} = \frac{2 \cdot W}{\pi \cdot d \cdot a}, \text{ МПа}; \quad (4.8)$$

де $\sigma_{r_{max}}$ – максимальна напруга, що виникає при затискачі деталі пристосуванням;

d – діаметр деталі в пристосуванні;

a – ширина одного кулачка ($a = 15$ мм, [36]).

Величина максимальних напруг у циліндричних заготовках:

а) розрахунки для циліндра $\varnothing 78 \times 1000$ при чорновій обробці рівна:

$$\sigma_{r_{max}} = \frac{2 \cdot 1349}{\pi \cdot 78 \cdot 15} = 0,734 \text{ МПа};$$

при чистовій обробці:

$$\sigma_{r_{max}} = \frac{2 \cdot 219}{\pi \cdot 78 \cdot 15} = 0,12 \text{ МПа};$$

а) розрахунки для циліндра $\varnothing 50 \times 2000$ при чорновій обробці:

$$\sigma_{r_{max}} = \frac{2 \cdot 1297}{\pi \cdot 50 \cdot 15} = 1,1 \text{ МПа};$$

при чистовій обробці:

$$\sigma_{r_{max}} = \frac{2 \cdot 218}{\pi \cdot 50 \cdot 15} = 0,19 \text{ МПа};$$

а) розрахунки для циліндра $\varnothing 150 \times 150$ при чорновій обробці:

$$\sigma_{r_{max}} = \frac{2 \cdot 1397}{\pi \cdot 150 \cdot 15} = 0,395 \text{ МПа};$$

при чистовій обробці:

$$\sigma_{r_{max}} = \frac{2 \cdot 220}{\pi \cdot 150 \cdot 15} = 0,04 \text{ МПа};$$

а) розрахунки для дисків $\varnothing 10 \times 5$ при чорновій обробці:

$$\sigma_{r_{max}} = \frac{2 \cdot 908}{\pi \cdot 10 \cdot 15} = 3,854 \text{ МПа};$$

при чистовій обробці:

$$\sigma_{r_{max}} = \frac{2 \cdot 210}{\pi \cdot 10 \cdot 15} = 0,89 \text{ МПа};$$

а) розрахунки для дисків $\varnothing 30 \times 15$ при чорновій обробці :

$$\sigma_{r_{max}} = \frac{2 \cdot 1210}{\pi \cdot 30 \cdot 15} = 1,71 \text{ МПа};$$

при чистовій обробці:

$$\sigma_{r_{max}} = \frac{2 \cdot 217}{\pi \cdot 30 \cdot 15} = 0,31 \text{ МПа};$$

а) розрахунки для півсфер $\varnothing 1500$ при чорновій обробці:

$$\sigma_{r_{max}} = \frac{2 \cdot 1447}{\pi \cdot 1500 \cdot 150} = 0,03 \text{ МПа};$$

при чистовій обробці:

$$\sigma_{r_{max}} = \frac{2 \cdot 220}{\pi \cdot 1500 \cdot 150} = 0,005 \text{ МПа};$$

а) розрахунки для півсфер $\varnothing 50$ при чорновій обробці:

$$\sigma_{r_{max}} = \frac{2 \cdot 1297}{\pi \cdot 50 \cdot 15} = 1,1 \text{ МПа};$$

при чистовій обробці:

$$\sigma_{r_{max}} = \frac{2 \cdot 218}{\pi \cdot 50 \cdot 15} = 0,19 \text{ МПа};$$

Отримані дані представимо в табл. 4.6.

Розрахунки показують, що виникаючі при кріпленні циліндричних заготовок у трьохкулачковому патроні напруги (3 – 4 МПа) прийнятні з погляду забезпечення рівня припустимих у заготовці напруг.

Таблиця 4.6 - Значення величини максимальних напруг у циліндричних заготовках

Деталь	напруга $\sigma_{r_{max}}$, МПа	
	чорнова обр.	чистова обр.
циліндр $\varnothing 78 \times 1000$	0,734	0,12
циліндр $\varnothing 50 \times 2000$	1,1	0,19
циліндр $\varnothing 150 \times 150$	0,395	0,04
диск $\varnothing 10 \times 5$	3,854	0,89
диск $\varnothing 30 \times 15$	1,71	0,31
півсфера $\varnothing 1500$	0,03	0,005
півсфера $\varnothing 50$	1,1	0,19

4.5 Розрахунки точності затискача пристосувань

Розраховується пристосування на точність [37].

Розрахункову сумарну погрішність пристосування $\Delta_{пр}$ розраховують по формулі

$$\Delta_{ін} \leq \delta - (k_1 \varepsilon + \Delta_{вуст} + k_2 \omega), \quad (4.4)$$

де δ – допуск на оброблюваній деталі [32];

k_1 – коефіцієнт, рівний 0,8...0,85;

ε – дійсне значення погрішностей базування заготовки в пристосуванні;

$\Delta_{вуст}$ – погрішність установки, тобто зсув заготовки при закріпленні;

k_2 – коефіцієнт, рівний 0,6...1,0;

ω – точність обробки на даній операції (поле допуску) [32].

Дійсну погрішність базування, тобто різниця граничних відстаней вимірювальної бази щодо встановленого на розмір інструмента, що виникає при незбігу вимірювальної й настановної (технологічної) баз у результаті неточностей форми й розмірів установлюваної заготовки, одержують розрахунковим шляхом [32, 33].

Для того, щоб забезпечити задану точність оброблюваної деталі, необхідно, щоб $\varepsilon \leq \varepsilon_{доп}$, де $\varepsilon_{доп}$ – значення, що допускається, погрішностей базування заготовки в пристосуванні

$$\varepsilon_{\text{доп}} = \delta - \omega.$$

Значення погрішностей установки $\Delta_{\text{вуст}}$ залежить від типу пристосування й способу затискача й визначається на основі досвідчених даних [32, 33].

Визначивши сумарну погрішність пристосування, її розподіляють між наступними складовими ланками розмірного ланцюга

$$\Delta_{\text{ін}} = \sum \delta_{\text{и}} + \delta_{\text{в}} + \delta_{\text{з}} + \delta_{\text{п}}, \quad (4.5)$$

де $\sum \delta_{\text{и}}$ – погрішність виготовлення деталей пристосування;

$\delta_{\text{в}}$ – погрішність установки пристосування на верстаті;

$\delta_{\text{з}}$ – погрішність, внаслідок конструктивних зазорів, необхідних для посадки заготовки на настановні елементи пристосування;

$\delta_{\text{п}}$ – погрішність перекосу або змішання інструмента щодо деталі, що виникає через неточність виготовлення напрямних елементів пристосування (якщо напрямні відсутні, погрішність $\delta_{\text{п}}$ не враховують).

Значення $\delta_{\text{в}}$, $\delta_{\text{з}}$, $\delta_{\text{п}}$ можна визначити й дослідним шляхом.

Результати розрахунків на точність пристосувань наведені в табл. 4.7

4.5.1 Розрахунки на точність трьохкулачкового патрона

Для циліндра $\varnothing 50 \times 2000$:

а) при чорновій обробці:

$$\Delta_{\text{ін}} \leq \delta - (k_1 \varepsilon + \Delta_{\text{вуст}} + k_2 \omega),$$

$$\delta = 620 + 250 + 100 + 16 = 986 \text{ мкм};$$

$$\omega = 620 \text{ мкм};$$

$$\varepsilon = \varepsilon_{\text{доп}} = \delta - \omega = 986 - 620 = 366 \text{ мкм};$$

$$\Delta_{\text{вуст}} = 100 \text{ мкм};$$

$$\Delta_{\text{ін}} \leq 986 - (0,8 \times 366 + 100 + 0,6 \times 620) = 221 \text{ мкм}$$

$$\Delta_{\text{ін}} = \sum \delta_{\text{и}} + \delta_{\text{в}} + \delta_{\text{з}} + \delta_{\text{п}},$$

$$\text{де } \sum \delta_{\text{и}} = 0,06 \text{ мм} = 60 \text{ мкм};$$

$$\delta_{\text{в}} = 0;$$

$$\delta_3 = 0 ;$$

$$\delta_{\Pi} = 0; [36]$$

$$\Delta_{\text{ін}} = 60 \text{ мкм}$$

$$60 \text{ мкм} \leq 221 \text{ мкм}$$

Вимога точності забезпечується даним пристосуванням.

б) при чистовій обробці:

$$\Delta_{\text{ін}} \leq \delta - (k_1 \varepsilon + \Delta_{\text{вуст}} + k_2 \omega),$$

$$\delta = 620 + 250 + 100 + 16 = 986 \text{ мкм};$$

$$\omega = 100 \text{ мкм};$$

$$\varepsilon = \varepsilon_{\text{доп}} = \delta - \omega = 986 - 100 = 886 \text{ мкм};$$

$$\Delta_{\text{вуст}} = 80 \text{ мкм};$$

$$\Delta_{\text{ін}} \leq 986 - (0,8 \times 886 + 80 + 0,6 \times 100) = 137 \text{ мкм}$$

$$\Delta_{\text{ін}} = 60 \text{ мкм (див. вище)}$$

$$60 \text{ мкм} \leq 137 \text{ мкм}$$

Вимога точності забезпечується даним пристосуванням.

Для циліндра Ø150×150:

а) при чорновій обробці:

$$\Delta_{\text{ін}} \leq \delta - (k_1 \varepsilon + \Delta_{\text{вуст}} + k_2 \omega),$$

$$\delta = 1000 + 400 + 160 + 45 = 1605 \text{ мкм};$$

$$\omega = 1000 \text{ мкм};$$

$$\varepsilon = \varepsilon_{\text{доп}} = \delta - \omega = 1605 - 1000 = 605 \text{ мкм};$$

$$\Delta_{\text{вуст}} = 130 \text{ мкм};$$

$$\Delta_{\text{ін}} \leq 1605 - (0,8 \times 605 + 130 + 0,6 \times 1000) = 391 \text{ мкм}$$

$$\Delta_{\text{ін}} = 60 \text{ мкм (див. вище)}$$

$$60 \text{ мкм} \leq 391 \text{ мкм}$$

Вимога точності забезпечується даним пристосуванням.

б) при чистовій обробці:

$$\Delta_{\text{ін}} \leq \delta - (k_1 \varepsilon + \Delta_{\text{вуст}} + k_2 \omega),$$

$$\delta = 1000 + 400 + 160 + 45 = 1605 \text{ мкм};$$

$$\omega = 160 \text{ мкм};$$

$$\varepsilon = \varepsilon_{\text{доп}} = \delta - \omega = 1605 - 160 = 1445 \text{ мкм};$$

$$\Delta_{\text{вуст}} = 110 \text{ мкм};$$

$$\Delta_{\text{ін}} \leq 1605 - (0,8 \times 1445 + 110 + 0,6 \times 160) = 243 \text{ мкм};$$

$$\Delta_{\text{ін}} = 60 \text{ мкм (див. вище)};$$

$$60 \text{ мкм} \leq 243 \text{ мкм}.$$

Вимога точності забезпечується даним пристосуванням.

Для диска Ø10×5:

а) при чорновій обробці:

$$\Delta_{\text{ін}} \leq \delta - (k_1 \varepsilon + \Delta_{\text{вуст}} + k_2 \omega),$$

$$\delta = 360 + 150 + 58 + 9 = 577 \text{ мкм};$$

$$\omega = 360 \text{ мкм};$$

$$\varepsilon = \varepsilon_{\text{доп}} = \delta - \omega = 577 - 360 = 217 \text{ мкм};$$

$$\Delta_{\text{вуст}} = 70 \text{ мкм};$$

$$\Delta_{\text{ін}} \leq 577 - (0,8 \times 217 + 70 + 0,6 \times 360) = 117 \text{ мкм}$$

$$\Delta_{\text{ін}} = 60 \text{ мкм (див. вище)}$$

$$60 \text{ мкм} \leq 117 \text{ мкм}$$

Вимога точності забезпечується даним пристосуванням.

б) при чистовій обробці:

$$\Delta_{\text{ін}} \leq \delta - (k_1 \varepsilon + \Delta_{\text{вуст}} + k_2 \omega),$$

$$\delta = 360 + 150 + 58 + 9 = 577 \text{ мкм};$$

$$\omega = 58 \text{ мкм};$$

$$\varepsilon = \varepsilon_{\text{доп}} = \delta - \omega = 577 - 58 = 519 \text{ мкм};$$

$$\Delta_{\text{вуст}} = 50 \text{ мкм};$$

$$\Delta_{\text{ін}} \leq 577 - (0,8 \times 519 + 50 + 0,6 \times 58) = 77 \text{ мкм}$$

$$\Delta_{\text{ін}} = 60 \text{ мкм (див. вище)}$$

$$60 \text{ мкм} \leq 77 \text{ мкм}$$

Вимога точності забезпечується даним пристосуванням.

4.5.2 Розрахунки на точність вакумного стола

Для “*Tile*” 195×195×4:

а) при чорновій обробці:

$$\Delta_{\text{ін}} \leq \delta - (k_1 \varepsilon + \Delta_{\text{вуст}} + k_2 \omega),$$

$$\delta = 1150 + 460 + 185 + 29 = 1824 \text{ мкм};$$

$$\omega = 1150 \text{ мкм};$$

$$\varepsilon = \varepsilon_{\text{доп}} = \delta - \omega = 1824 - 1150 = 674 \text{ мкм};$$

$\Delta_{\text{вуст}} = 0$ – установка на вакумному столі не дає погрішності.

$$\Delta_{\text{ін}} \leq 1824 - (0,8 \times 674 + 0,6 \times 1150) = 595 \text{ мкм}$$

$$\Delta_{\text{ін}} = \sum \delta_{\text{и}} + \delta_{\text{в}} + \delta_{\text{з}} + \delta_{\text{п}},$$

$$\text{де } \sum \delta_{\text{и}} = 0,2909 \text{ мм} = 290 \text{ мкм};$$

$$\delta_{\text{в}} = 0;$$

$$\delta_{\text{з}} = 0;$$

$$\delta_{\text{п}} = 0; [36]$$

$$\Delta_{\text{ін}} = 290 \text{ мкм};$$

$$290 \text{ мкм} \leq 595 \text{ мкм}.$$

Вимога точності забезпечується даним пристосуванням.

б) при чистовій обробці:

$$\Delta_{\text{ін}} \leq \delta - (k_1 \varepsilon + \Delta_{\text{вуст}} + k_2 \omega),$$

$$\delta = 1150 + 460 + 185 + 29 = 1824 \text{ мкм};$$

$$\omega = 185 \text{ мкм};$$

$$\varepsilon = \varepsilon_{\text{доп}} = \delta - \omega = 1824 - 185 = 1639 \text{ мкм};$$

$\Delta_{\text{вуст}} = 0$ – установка на вакумному столі не дає погрішності.

$$\Delta_{\text{ін}} \leq 1824 - (0,8 \times 1639 + 0,6 \times 185) = 402 \text{ мкм};$$

$$\Delta_{\text{ін}} = 290 \text{ мкм (див. вище);}$$

$$290 \text{ мкм} \leq 402 \text{ мкм}.$$

Вимога точності забезпечується даним пристосуванням.

4.5.3 Розрахунки на точність лещат

Для призми $150 \times 150 \times 800$:

а) при чорновій обробці:

$$\Delta_{\text{ін}} \leq \delta - (k_1 \varepsilon + \Delta_{\text{вуст}} + k_2 \omega),$$

$$\delta = 1000 + 400 + 160 + 45 = 1605 \text{ мкм};$$

$$\omega = 1000 \text{ мкм};$$

$$\varepsilon = \varepsilon_{\text{доп}} = \delta - \omega = 1605 - 1000 = 605 \text{ мкм};$$

$$\Delta_{\text{вуст}} = 160 \text{ мкм};$$

$$\Delta_{\text{ін}} \leq 1605 - (0,8 \times 605 + 160 + 0,6 \times 1000) = 361 \text{ мкм};$$

$$\Delta_{\text{ін}} = \sum \delta_{\text{н}} + \delta_{\text{в}} + \delta_{\text{з}} + \delta_{\text{п}},$$

$$\text{де } \sum \delta_{\text{н}} = 0,05 \text{ мм} = 50 \text{ мкм};$$

$$\delta_{\text{в}} = 0,06 \text{ мм} = 60 \text{ мкм};$$

$$\delta_{\text{з}} = 0;$$

$$\delta_{\text{п}} = 0,01 \text{ мм} = 10 \text{ мкм}; [36]$$

$$\Delta_{\text{ін}} = 50 + 60 + 10 = 120 \text{ мкм};$$

$$120 \text{ мкм} \leq 361 \text{ мкм}.$$

Вимога точності забезпечується даним пристосуванням.

б) при чистовій обробці:

$$\Delta_{\text{ін}} \leq \delta - (k_1 \varepsilon + \Delta_{\text{вуст}} + k_2 \omega),$$

$$\delta = 1000 + 400 + 160 + 45 = 1605 \text{ мкм};$$

$$\omega = 160 \text{ мкм};$$

$$\varepsilon = \varepsilon_{\text{доп}} = \delta - \omega = 1605 - 160 = 1445 \text{ мкм};$$

$$\Delta_{\text{вуст}} = 90 \text{ мкм};$$

$$\Delta_{\text{ін}} \leq 1605 - (0,8 \times 1445 + 90 + 0,6 \times 160) = 263 \text{ мкм};$$

$$\Delta_{\text{ін}} = 120 \text{ мкм (див. вище);}$$

$$120 \text{ мкм} \leq 263 \text{ мкм}.$$

Вимога точності забезпечується даним пристосуванням.

Для призми $20 \times 20 \times 1,5$:

а) при чорновій обробці:

$$\Delta_{\text{ін}} \leq \delta - (k_1 \varepsilon + \Delta_{\text{вуст}} + k_2 \omega),$$

$$\delta = 520 + 210 + 84 + 13 = 827 \text{ мкм};$$

$$\omega = 520 \text{ мкм};$$

$$\varepsilon = \varepsilon_{\text{доп}} = \delta - \omega = 827 - 520 = 307 \text{ мкм};$$

$$\Delta_{\text{вуст}} = 110 \text{ мкм};$$

$$\Delta_{\text{ін}} \leq 827 - (0,8 \times 307 + 110 + 0,6 \times 520) = 159 \text{ мкм};$$

$$\Delta_{\text{ін}} = 120 \text{ мкм (див. вище);}$$

$$120 \text{ мкм} \leq 159 \text{ мкм.}$$

Вимога точності забезпечується даним пристосуванням.

б) при чистовій обробці:

$$\Delta_{\text{ін}} \leq \delta - (k_1 \varepsilon + \Delta_{\text{вуст}} + k_2 \omega),$$

$$\delta = 520 + 210 + 84 + 13 = 827 \text{ мкм};$$

$$\omega = 84 \text{ мкм};$$

$$\varepsilon = \varepsilon_{\text{доп}} = \delta - \omega = 827 - 84 = 723 \text{ мкм};$$

$$\Delta_{\text{вуст}} = 50 \text{ мкм};$$

$$\Delta_{\text{ін}} \leq 827 - (0,8 \times 723 + 50 + 0,6 \times 84) = 148 \text{ мкм};$$

$$\Delta_{\text{ін}} = 120 \text{ мкм (див. вище);}$$

$$120 \text{ мкм} \leq 148 \text{ мкм.}$$

Вимога точності забезпечується даним пристосуванням.

Таблиця 4.7 - Точність пристосувань

Пристосування	Деталь	Розміри, мм	Припустима погрішність $\Delta_{\text{ін}}$, мкм		Погрішність дійсна $\Delta_{\text{ін}}$, мкм
			чорнова обр.	чистова обр.	
Патрон трёхкулачковый	циліндр	Ø50×2000	221	137	60
		Ø150×150	391	243	60
	диск	Ø10×5	117	77	60
Вакумний стіл	Tile	195×195×4	595	402	290
Лещата	призма	150×150×800	361	263	120
		20 × 20 × 1,5	159	148	120

Аналіз розрахунків показує, що вимоги точності до пристосувань дотримані й виникаючі погрішності при базуванні заготовок у пристосуваннях не перевищують припустимі показники.

5. РОЗРАХУНКИ НАПРУГ І ДЕФОРМАЦІЙ У СТАТИЧНО НАВАНТАЖЕНИХ МОДЕЛЯХ «ПОЛІСТИРОЛЬНА ЗАГОТОВКА-РІЗАЛЬНИЙ ІНСТРУМЕНТ» З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОГРАМНОГО ПАКЕТА ANSYS

У справжньому розділі представлені методика й результати статичного розрахунків напруг і деформацій у твердо тільних моделях полістирольних заготовок з використанням програмного пакета ANSYS. Метою розрахунків є аналіз величин і характеру розподілу напруг і деформацій для ряду твердо тільних моделей (циліндр, призма), що виникають у процесі різання, а також визначення залежності напруг і деформацій від різних параметрів процесу (швидкості різання, геометрії різця, параметрів шару, що зрізується), зіставлення результатів розрахунків з даними, отриманими експериментальним шляхом. Дана методика дає наочну виставу про напруги й деформації, що виникають полімерній заготовці від діючих сил різання й умов кріплення деталі.

5.1 Твердотільне параметричне моделювання.

Модель - математична вистава геометричної форми, збережене в пам'яті комп'ютера системи CAD/CAM. Двовимірні моделі розпізнаються системою як плоскі кадри, обмежені декількома крапками, які можуть бути визначені декартовими координатами X і Y .

При твердотільному моделюванні вказуються геометричні границі моделі, установлюються параметри керування розміром і формою елементів, програмі пропонується автоматична побудова всіх вузлів і елементів.

При аналізі досліджуваних полістирольних моделей використовувався програмний пакет ANSYS.

Розглянемо переваги й недоліки твердотільного параметричного моделювання. *Перевагами є [40].:*

- Підходить для більших або складних моделей, особливо при побудові просторових моделей.

- Дозволяє працювати з відносно малим числом даних.
- Допускає геометричні операції (такі як переміщення й обертання), які не можуть бути виконані з вузлами й елементами.
- Підтримує використання "примітивних" поверхонь і обсягів (типу плоских багатокутних поверхонь і циліндричних обсягів) і булевих операцій (перетинання, вирахування і т.д.) для побудови моделі за принципом "знизу - нагору".
- Забезпечує можливість використання засобів оптимізації програми ANSYS.
- Дозволяє швидко вносити зміни в геометрію моделі.
- Забезпечує можливість міняти розташування елементів (у цьому випадку користувач не обмежено одним типом аналізу).

Недоліки:

- Іноді вимагає більших витрат часу роботи центрального процесора.
- Для малих і простих моделей може бути більш громіздким, вимагаючи більше даних введення в порівнянні з методом прямої генерації.
- При деяких обставинах може виявитися неспроможним (програма не зможе створити сітку кінцевих елементів).

Побудова фізичної моделі містить у собі ідеалізацію властивостей конструкції й зовнішніх впливів. У загальному випадку конструкція, виготовлена з реального матеріалу, що перебуває під дією зовнішніх навантажень, може мати багато особливостей, що включають у себе недосконалість форми, неоднорідність матеріалу, особливості зовнішнього навантаження і т.д. У практичних розрахунках урахувати всі ці особливості неможливо, тому ми змушено підмінювати реальні тіла деякими ідеалізованими об'єктами – «механічними моделями». Далі, реальне тверде тіло ми можемо представити як нескінченну систему матеріальних крапок, певним чином взаємодіючим між собою. Ще однієї ідеалізацією реального твердого тіла є присвоєння йому властивостей однорідності.

Наступним етапом розрахунків є математичний опис поведінки моделі. Загалом вона містить у собі вхідні й вихідні дані й математично сформульований оператор переходу від перших до других.

При математичному описі поведінки моделі часто доводиться вводити додаткові, що спрощують припущення про характер окремих властивостей моделі і її матеріалу. Цим пояснюється, зокрема, існування для однієї й тієї ж фізичної моделі декількох різних математичних моделей.

5.2 Основні положення розрахунків на міцність твердотільних моделей.

Найважливішим завданням інженерного розрахунків є оцінка міцності деталі по відомому напруженому стану, тобто по відомих головних напругах у крапках тіла. Найбільше просто це завдання вирішується при простих видах деформації, зокрема при одноосьовому напруженому стані, тому що в цьому випадку значення граничних напруг легко встановити експериментально. Під граничною напругою для пластичних матеріалів розуміється границя текучості, а для тендітних - тимчасовий опір [38].

Єдиний шлях розв'язку поставленого завдання полягає у виборі критерію міцності (критерію граничного напружено-деформованого стану). Для реалізації цього шляху були розроблені гіпотези про переважний вплив на міцність матеріалу того або іншого фактора. Такі гіпотези називають механічними теоріями міцності.

При розрахунках полістирольних моделей застосовувалася теорія міцності, заснована на критерії фон Мизеса. Передбачається, що граничний стан навантаженого тіла визначається граничною величиною накопиченої питомої енергії формозміни. Величина, що характеризує енергію формозміни – інтенсивність напруг i .

Умова руйнування в цьому випадку буде:

$$\sigma_i = \sigma^0 \quad (5.1)$$

Умова міцності буде

$$\sigma_i \leq \sigma^0 \quad (5.2)$$

Уважаючись, що матеріал діє за законом Гука аж до настання моменту початку плинності, одержуємо:

$$\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2} = \sigma_T \quad (5.3)$$

Еквівалентна напруга по четвертій теорії міцності визначиться формулою:

$$\sigma_{еквIV} = \sqrt{\frac{1}{2} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]} \quad (5.4)$$

Четверта теорія міцності застосовна для пластичних матеріалів, що однаково пручаються розтягання й стиску. Так, гранична поверхня, відповідна до умови появи масових пластичних деформацій, по теорії фон Мизеса має вигляд:

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 - 2\sigma_T^2 = 0 \quad (5.5)$$

Дана теорія міцності є основою розрахунків моделей статично навантажених полістирольних заготовок методом кінцевих елементів. Статичний розрахунки моделей і графічне відображення напруг і деформацій у матеріалі проводилися в програмному пакеті ANSYS.

ANSYS - універсальна програмна система кінцево-елементного аналізу, що існує, що й розбудовується протягом останніх 30 років. Вона є досить популярною у фахівців в області комп'ютерного інжинірингу (CAE, Computer-Aided Engineering) і KE розв'язку лінійних і нелінійних, стаціонарних і нестаціонарних просторових завдань механіки деформованого твердого тіла, і механіки конструкцій (включаючи нестаціонарні геометрично й фізично нелінійні завдання контактної взаємодії елементів конструкцій), завдань

механіки рідини й газу, теплопередачі й теплообміну, електродинаміки, акустики, а також механіки зв'язаних полів [39].

Усі розрахунки проводяться на основі методу кінцевих елементів (МКЕ).

Основна ідея методу кінцевих елементів полягає в тому, що будь-яку безперервну величину певну на довільному просторі, таку, як напруга, переміщення, температура або тиск, можна апроксимувати дискретною моделлю, яка будується на безлічі кусочно-безперервних функцій, певних на кінцевому числі підобластів. При цьому, самі кусочно-безперервні функції визначаються за допомогою значень безперервної величини в кінцевому вузлових числі крапок розглянутої області [38].

У загальному випадку безперервна величина заздалегідь невідома, і потрібно визначити значення цієї величини в деяких внутрішніх крапках області. Дискретну модель, однак, дуже легко побудувати, якщо спочатку припустити, що числові значення цієї величини в кожній внутрішній крапці області відомі. Після цього можна перейти до загального випадку. Отже, при побудові дискретної моделі безперервної величини надходять у такий спосіб:

У розглянутій області фіксується кінцеве число крапок. Ці крапки називаються вузловими крапками або просто вузлами. Значення безперервної величини в кожній вузловій крапці вважається змінної, яка повинна бути визначена.

Область визначення безперервної величини розбивається на кінцеве число під областей, називаних елементами. Ці елементи мають загальні вузлові крапки й у сукупності апроксимують форму області. Безперервна величина апроксимується на кожному елементі поліномом, який визначається за допомогою вузлових значень цієї величини. Для кожного елемента визначається свій поліном, але поліноми підбираються таким чином, щоб зберігалася безперервність величини уздовж границь елемента.

При моделюванні механічних тіл і конструкцій ідея МКЕ реалізується досить просто. Конструкція розбивається на частині, геометрія яких може бути легко математично описана: прямі лінії, трикутники, прямокутники, піраміди,

призми. Одержувані підобласти мають хоча й малі, але все-таки кінцеві розміри, звідки й відбувається їхня назва «кінцеві елементи». При цьому завдання граничних умов стає дуже простим, – вони задаються у вузлах кінцевих елементів. Усередині кожного елемента шуканий розв'язок апроксимується поліномами першої, другої, третьої або четвертого ступеня. При цьому невідомі коефіцієнти при апроксимуючих поліномах шляхом нескладних математичних перетворень виражаються через величини, які мають ясний фізичний зміст [41].

Розглянемо тіло, навантажене довільним образом. За допомогою сітки січних площин (або криволінійних поверхонь) розіб'ємо його на окремі частини (рис.5.1).

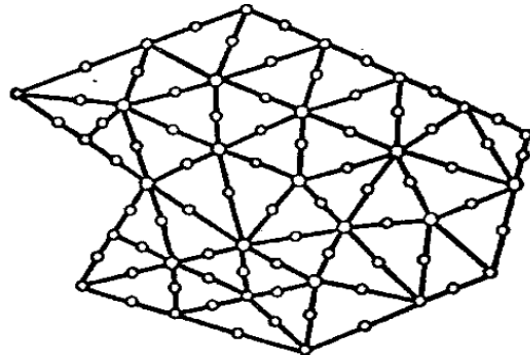


Рисунок 5.1- Розбивка тіла на кінцеві елементи.

Таким чином, безперервне тіло представляється у вигляді сукупності кінцевих елементів, властивості жорсткості кожного з яких розглядаються потім незалежно від інших. На границях між кінцевими елементами вибираються деякі крапки вузли; переміщення вузлів у напрямку координатних осей ухвалюються в якості основних невідомих.

Для знаходження переміщення (а отже, деформації й напруги) усередині кожного кінцевого елемента, знаючи переміщення приналежних йому вузлів, вибираємо деяку сукупність функцій, які дозволяють апроксимувати поле переміщень усередині кінцевого елемента по відомих вузлових переміщеннях. Деформований і напружений стан елемента буде однозначно визначатися вузловими переміщеннями. Тому під кінцевим елементом розуміють область тіла в сукупності із заданими в ній апроксимуючими функціями.

Розглянемо абстрактний кінцевий елемент із вузлами i і j (Рис. 5.2), [41].

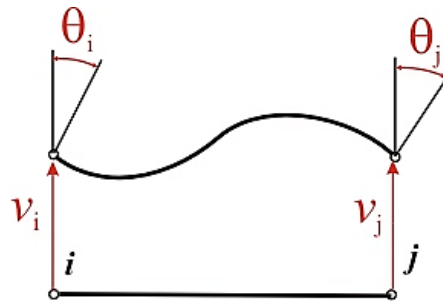


Рисунок 5.2 – Модель кінцевого елемента

Уведемо вектор вузлових переміщень кінцевого елемента $\{\delta\}$ у вигляді

$$\{\delta^e\} = \begin{Bmatrix} v_i \\ \theta_i \\ v_j \\ \theta_j \end{Bmatrix}. \quad (5.6)$$

Добуток напруг на відповідні деформації дають питому енергію деформації (на одиниці об'єму). Щоб обчислити енергію деформації по всьому обсягу кінцево-елементного аналога, треба проінтегрувати (просумувати) питому енергію деформації за обсягом кінцевого елемента й просумувати по всіх елементах кінцево-елементного аналога. Далі, добуток вузлових сил на відповідні вузлові переміщення дають роботу зовнішніх сил. Повна ж енергія деформації є різниця енергії деформації всіх кінцевих елементів кінцево-елементного аналога з роботою зовнішніх сил. І щоб знайти її мінімум, треба записати вираження для повної енергії й продиференціювати його по кожному переміщенню. Сукупність часток похідних дасть систему лінійних рівнянь у вигляді

$$[K]\{\delta\} = \{M\}, \quad (5.7)$$

де $[K]$ – матриця твердості кінцево-елементного аналога, $\{\delta\}$ – вектор вузлових переміщень кінцево-елементного аналога, $\{M\}$ – вектор вузлових сил кінцево-елементного аналога.

Матриця твердості кінцевого елемента $[K^e]$ має розмір 4×4 , і симетрична щодо головної діагоналі. Використовуючи позначення вузлів кінцевого елемента i і j , структуру цієї матриці можна представити у вигляді

$$[K^e] = \begin{bmatrix} [k_{ii}] & [k_{ij}] \\ [k_{ji}] & [k_{jj}] \end{bmatrix}, \quad (5.8)$$

де $[k_{ii}]$, $[k_{ij}]$, $[k_{ji}]$, $[k_{jj}]$ – підматриці розміром 2×2 , а підстановка замість i і j номерів вузлів кінцевого елемента показує місце кожної підматриці в глобальній матриці твердості $[K]$ кінцево-елементного аналога.

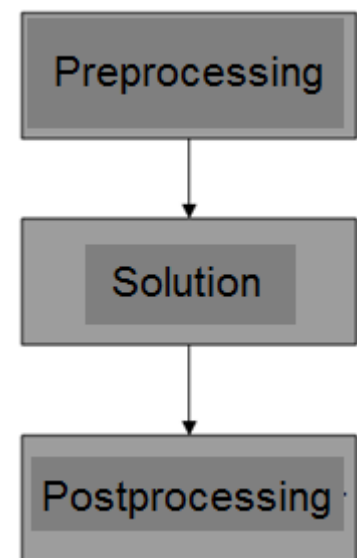
Метод кінцевих елементів дозволяє значно зменшити витрати при розробці нових виробів, тому що дозволяє суттєво скоротити обсяги або навіть повністю відмовитися від дорогих стендових випробувань, також за допомогою цього методу можна в порівняно короткий термін оцінити характеристики різних варіантів конструкцій і вибрати найкращу.

У цей час уже зложилася певна технологія дій при побудові кінцево-елементних моделей реальних конструкцій і систем [38].

Аналіз напружено-деформованого стану (ПДВ) – загальний термін, використовуваний для опису розрахунків, у яких результатами є напруги й деформації. Він також відомий як структурний аналіз.

Кожний аналіз містить у собі три кроки:

- Preprocessing (Препроцесінг)
 - створення/імпорт геометрії моделі;
 - створення сітки КЕ по геометрії;
- Solution (Розв'язок)
 - завдання навантажень;
 - розрахунки;
- Postprocessing (Постпроцесінг)
 - перегляд результатів;
 - перевірка вірогідності розв'язку.



Головне Меню ANSYS також організоване в термінах препроцесінг, розв'язок і поспроцесінг (рис. 5.3).

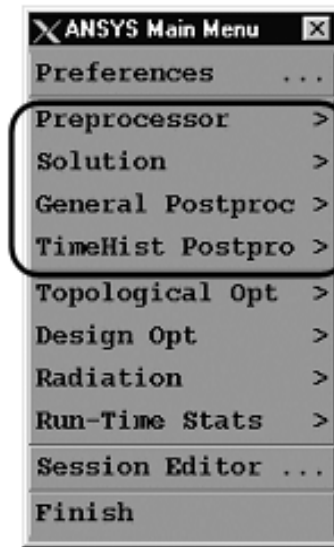


Рисунок 5.3 - Головне меню ANSYS

Препроцесор (в ANSYS називається PREP7) – місце, де користувач задає більшу частину вхідних даних програми. Його головне призначення – генерація елементній-кінцево-елементної моделі, що містить вузли, елементи й властивості матеріалів. Це самий трудомісткий за часом етап розв'язку завдання. На цьому етапі задається геометрична модель об'єкта, визначаються типи використовуваних елементів, задаються властивості матеріалу й крайові умови.

Звичайно починають зі створення геометрії моделі. Твердотіла модель звичайно використовується для вистави геометрії моделі. Вона може складатися із твердих тіл або поверхонь, залежно від структури, що моделюється. Звичайна твердотіла модель визначається обсягами, поверхнями, лініями й крапками. Можна створювати твердотільну модель або імпортувати її з іншої програми.

Для імпорту файлу в ANSYS: Utility Menu > File > Import > IGES

IGES – засіб для передачі геометрії твердотільної моделі з однієї програми в іншу.

У відчиненому діалозі вибрати метод *alternate* і натиснути OK (рис.5.4)

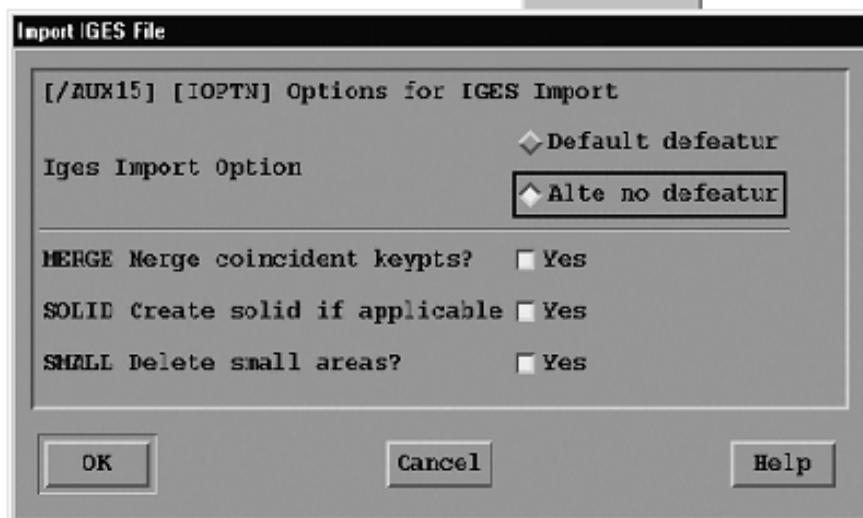


Рисунок 5.4 - Меню для імпорту файлу.

Meshing (Створення сітки KE) – процес, використовуваний для «заповнення» твердотільної моделі вузлами й елементами, тобто для створення кінцево-елементної розрахункової моделі (рис.5.5).



Рисунок 5.5 - Створення сітки KE

Наступний етап – навантаження – крок розв'язку, на якому задаються навантаження, що діють на об'єкт (рис.5.6). Під навантаженнями в ANSYS мається на увазі завдання всіх видів крайових умов. Наприклад, у випадку розв'язку завдання по механіці деформованого твердого тіла - це завдання поля переміщень на деякій поверхні (умови закріплення) і поля сил (локальних, поверхневих, об'ємних).

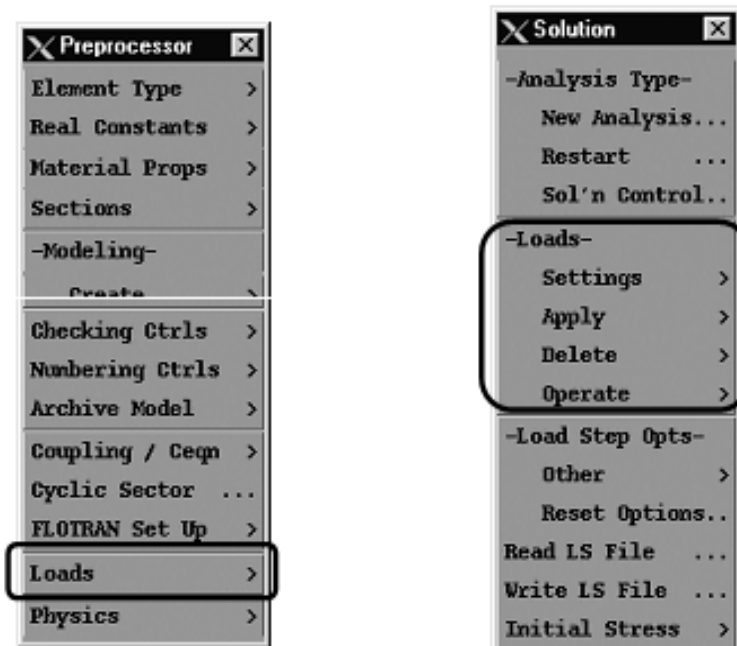


Рисунок 5.6 - Меню ANSYS для завдання навантажень.

Існує п'ять категорій навантажень:

1. Закріплення (задані значення ступенів волі).
2. Зосереджені навантаження (крапкові, такі як сили або джерела тепла).
3. Поверхневі навантаження (навантаження, розподілені по поверхні, такі як тиск або конвекція).
4. Об'ємні навантаження (такі як температура або внутрішні джерела тепла).
5. Інерційні навантаження (навантаж від маси деталі або конструкції, сила ваги, обертальна швидкість).

Навантаження можна прикладати або до твердотільної моделі або прямо до КЕМ (рис. 57). Навантаження, прикладені до твердотільної моделі, не залежать від сітки, тобто не потрібно перезадати навантаження при зміні сітки.

У меню *Solution > Loads Apply* вибираємо потрібне навантаження, лінію, до якої воно буде прикладена в графічному вікні, указуємо величину навантаження (рис.5.8, 5.9).

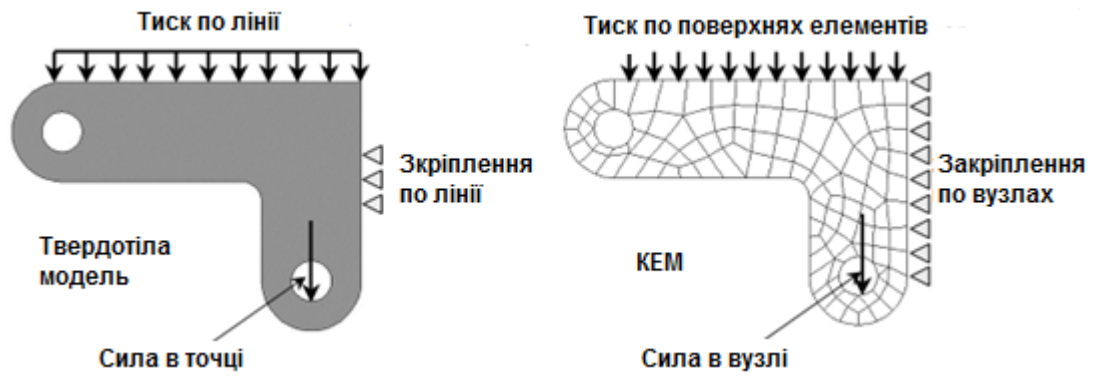


Рисунок 5.7 - Навантаження твердотільної моделі й КЕМ.

- Для завдання закріплення переміщень:
 - Solution > -Loads- Apply > Displacement
 - Виберіть де ви хочете поставити 'закріплення'.
 - Вкажіть потрібні об'єкти в графічному вікні.
 - Потім, виберіть напрямки, що закріплюються. Нульові значення за замовчуванням.
 - Або ж за допомогою сімейства команд D : DK, DL, DA, D.

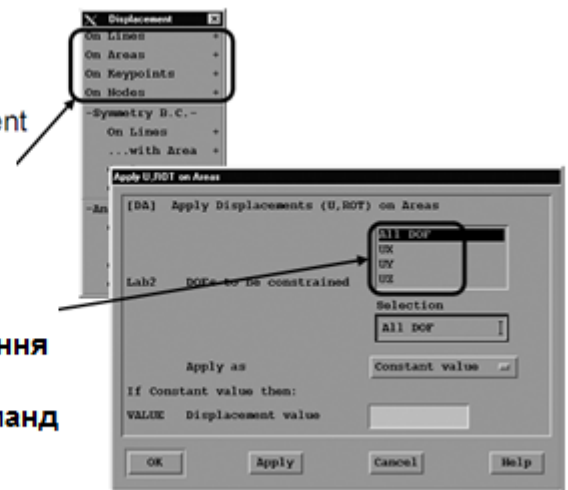


Рис. 5.8 - Завдання закріплення деталі.

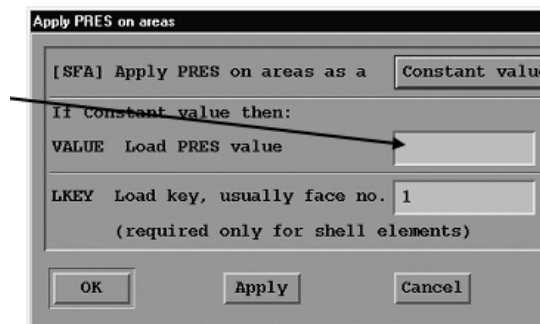
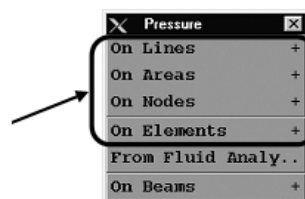


Рисунок 5.9 - Завдання навантаження.

Розрахунки – крок, на якому ми одержуємо кінцево-елементний розв'язок (рис. 5.10). При виконанні цієї команди ANSYS бере модель і інформацію з навантажень із файлу бази даних і обчислює результат. У плинні розрахунків ANSYS видає багато корисної інформації:

- Масові характеристики моделі;
- Діапазон коефіцієнтів матриці елементів;
- Розмірність моделі.

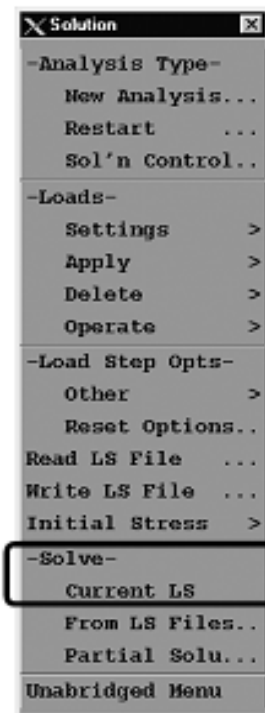


Рисунок 5.10 - Запуск на розрахунки.

Постпроцесинг найбільш важливий етап у розрахунках. Може знадобитися змінити конструкцію за результатами розрахунків, тому вивчаємо результати й перевіряємо вірогідність розв'язку.

Перегляд результатів розрахунків містить у собі:

- деформовану форму,
- напруги.

Необхідно пам'ятати, що МКЕ наближений метод розрахунків, і для оцінки вірогідності результатів необхідно зрівняти результати при двох різних сітках розбивки.

5.3 Розрахунки напруг і деформацій в оброблюваних заготовках

У даному підрозділі представлені результати розрахунків напруг і деформацій у заготовках з оптичного полістиролу. У якості базових операцій ухвалювалися операція точіння (чорнова, чистова) для циліндричних деталей і торцевого фрезерування (чорнове, чистове) для призматичних деталей.

Отримані в результаті розрахунків двомірних параметричних моделей полістирольних заготовок картини напружено-деформованого стану в зоні контакту «інструмент – оброблюваний матеріал» і числові значення напруг і деформацій дають можливість побачити характер розподілу напруг і деформацій в обсязі оброблюваного матеріалу, глибину їх поширення в приповерхній шар заготовки, а також установити закономірності зміни напруг і деформацій зі зміною параметрів процесу різання, умов закріплення й положення різального інструменту щодо оброблюваної заготовки (Додаток А).

5.3.1 Моделювання довгомірного циліндра $\varnothing 50 \times 2000$ мм.

Розрахункова схема для циліндра ($\varnothing 50 \times 2000$ мм) на операції гостріння представлена на рис. 4.11.

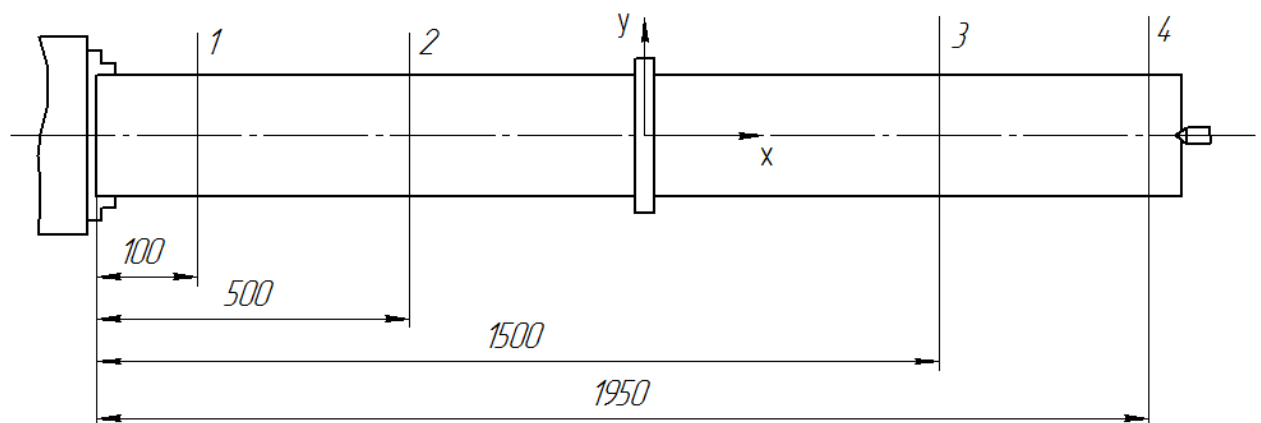


Рисунок 5.11 - Розрахункова схема досліджуваної заготовки

Заготовка ($\varnothing 50 \times 2000$ мм) закріплена у трикулачковому патроні. Правий торець заготовки підгорнутий заднім центром, посередині деталі закріпили в люнет. Закріплення даної деталі забезпечує початкові переміщення уздовж осей X і Y рівне нулю.

Задані граничні умови: модуль пружності $E_p = 2800$ МПа, коефіцієнт Пуассона $\nu = 0,325$.

Напруга й деформація деталі досліджується в декількох перетинах: на врізанні (ближче до правого торця, перетин 4), посередині, між люнетом і правим торцем (перетин 3), посередині між люнетом і лівим торцем (перетин 2) і біля закріплення (лівий торець, перетин 1). У розрахункових крапках прикладене навантаження P_z по кільцю циліндра, як показано в розділі 4.3. Дослідження проводилися при чорновій і чистовій обробці деталей. Розрахункова початкова схема МКЕ для оброблюваного циліндра представлена на рис.5.12 і результати розрахунків наведені в табл. 5.1, 5.2.

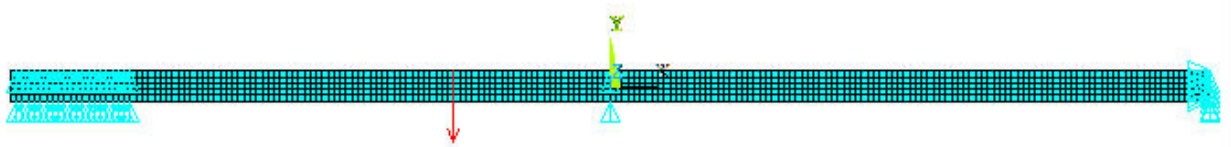


Рисунок 5.12 - Розрахункова схема циліндра $\varnothing 50 \times 2000$ мм у перетині 2 в ANSYS.

Таблиця 5.1 - Напруги й деформації в циліндричній заготовці

Перетин	Режими різання	Деформація, мкм	Напруга, МПа
1	$V = 50$ м/хв $S = 0,03$ мм/ про $t = 3$ мм	0,763	0,544
2		79,69	3,345
3		48,93	1,227
4		9,394	0,727

Як видно з наведеної таблиці найбільші напруги й деформації довгомірна заготовка випробовує при чорновому гострінні в перетині 2. Розрахункові картини й графіки напруги й деформації в перетині 2 представлені на рис .5.13-5.16. Рівень напруг, що перебуває в межах 3 – 4 МПа наближається до рівня критичних напружень для полістиролу в умовах температурного впливу (8 – 10 МПа). У такий спосіб запропоновані умови чорнкової обробки ($V = 50$ м/хв; $S = 0,03$ мм/об; $t = 3$ мм) є гранично припустимими в умовах формування полістирольного виробу.

Синусоїдальний характер деформацій і їх сумарна величина ($\epsilon = 80$ мкм) говорить про граничні значення перетину зрізу, які можна рекомендувати при чорновій обробці, тому що середня величина допуску на виріб становить 100 мкм.

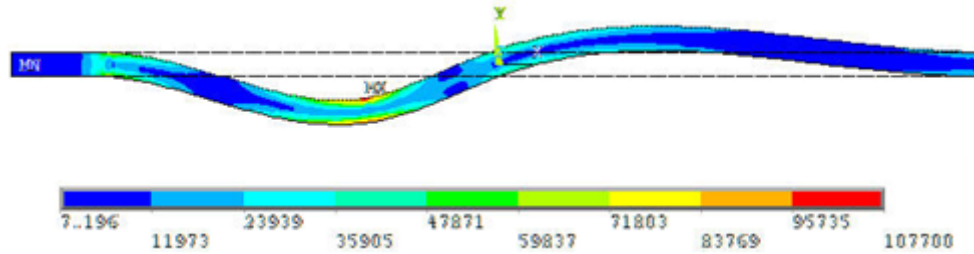


Рисунок 5.13 - Деформація деталі при чорновій обробці

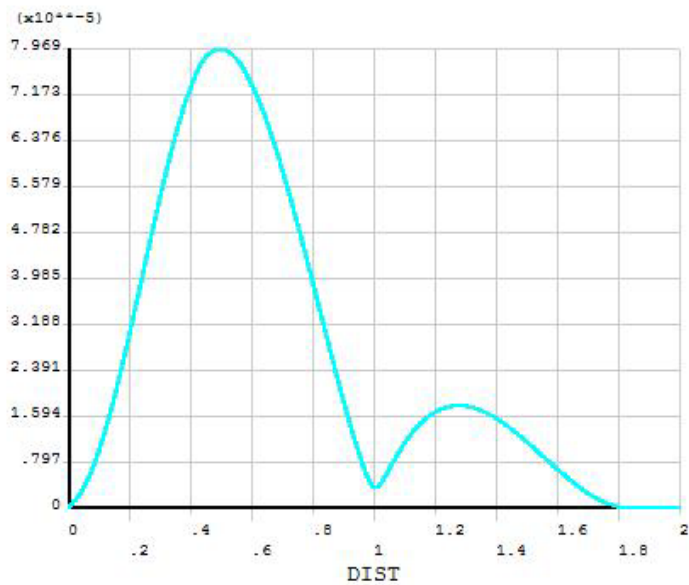


Рисунок 5.14 - Графік залежності деформації по довжині деталі

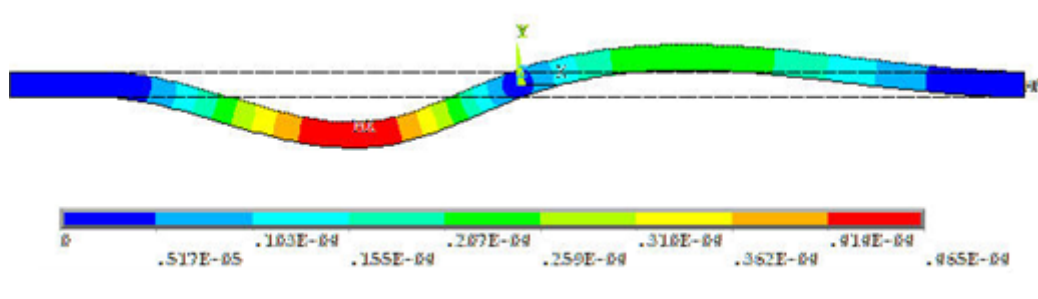


Рисунок 5.15 - Напруга деталі при чорновій обробці

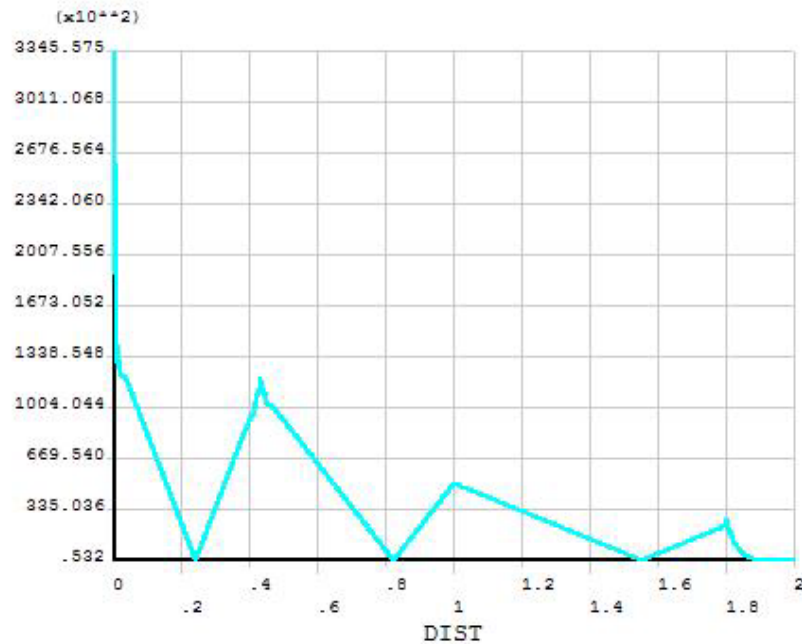


Рисунок 5.16 - Графік залежності напруги по довжині деталі

Таблиця 5.2 - Результати дослідження при чистовій обробці

Перетин	Режими різання	Деформація, мкм	Напруга, МПа
1	$V = 50$ м/хв; $S = 0,03$ мм/об $t = 0,25$ мм	0,114	0,082
2		12,94	0,486
3		7,413	0,186
4		0,493	0,081

Дані з наведеної таблиці 5.2 показують, що найбільші напруги й деформації довгомірна заготовка випробовує при чистовому гострінні в перетині 2. Розрахункові картини й графіки напруги й деформації в перетині 2 представлені на рис. 5.17 - 5.20. Рівень напруг, що перебуває в межах 0,4 – 0,5 МПа далекий від рівня критичних напружень для полістиролу в умовах температурного впливу (8 – 10 МПа).

Однак синусоїдальний характер деформацій приводить до виникнення хвилястості й приводить до погіршення оптичних властивостей полістирольного виробу, тим самим погіршуючи його якість. Тому запропоновані умови чистової обробки ($V = 50$ м/хв; $S = 0,03$ мм/об; $t = 0,25$ мм) є гранично припустимими для чистового процесу різання полістирольного

виробу. При виборі умов обробки необхідно уникнути хвилястості на поверхні заготовки.

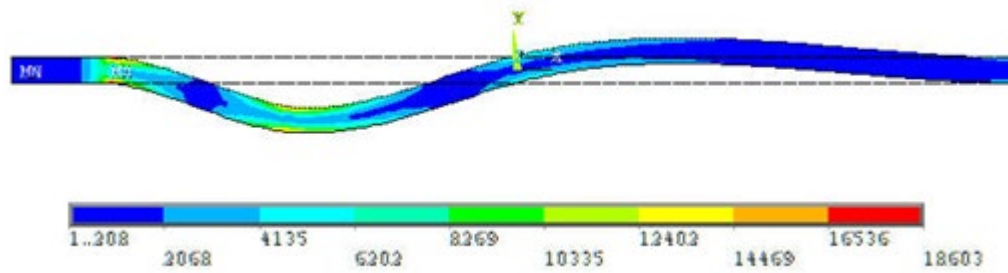


Рисунок 5.17 - Деформація на чистовій обробці

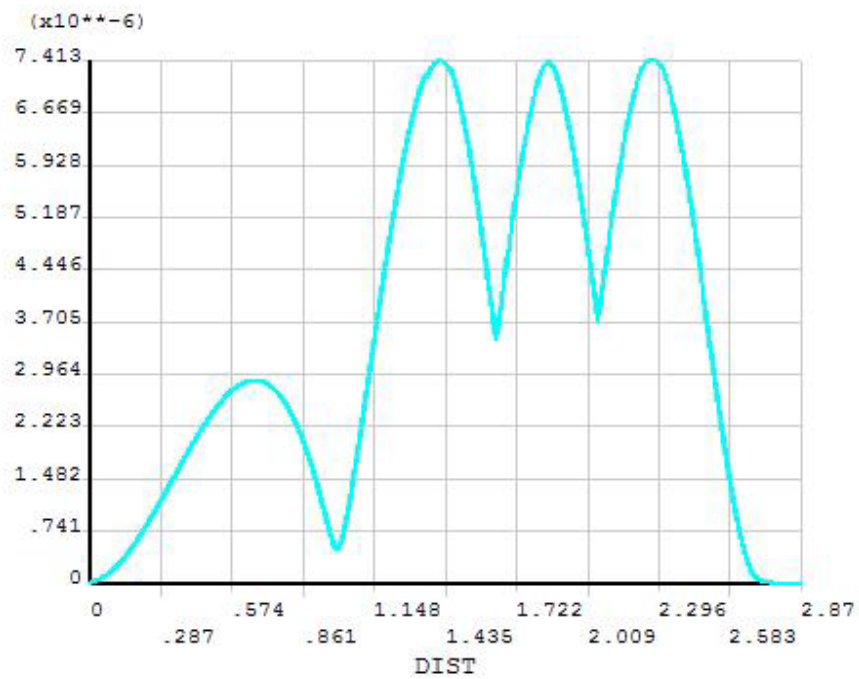
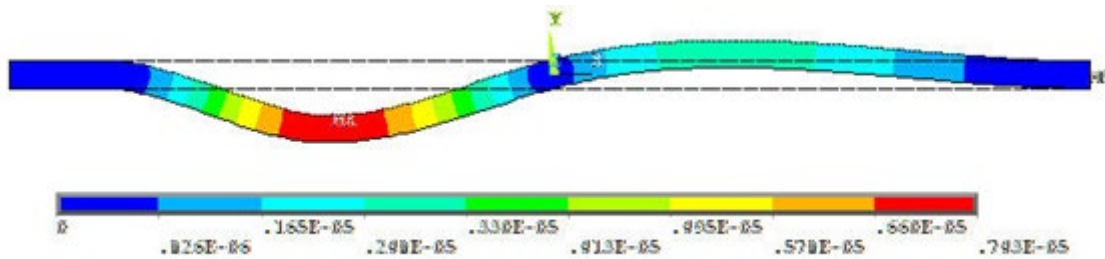


Рисунок 5.18 - Графік залежності деформації по довжині деталі



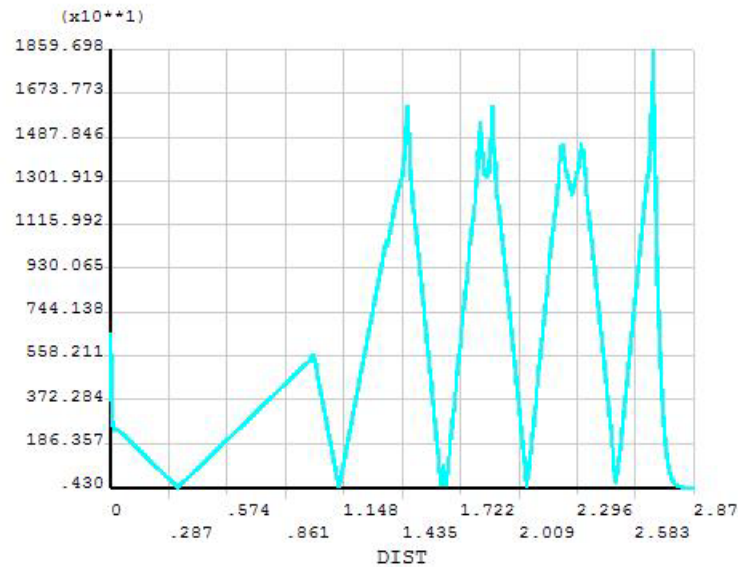


Рисунок 5.20 - Графік залежності напруги по довжині деталі

5.3.2 Моделювання циліндра $\varnothing 150 \times 150$ мм.

Розглянемо напруги й деформації, що виникають при обробці короткого циліндра. Розрахункова схема для циліндра ($\varnothing 150 \times 150$ мм) на операції гостріння представлена на рис. 4.21.

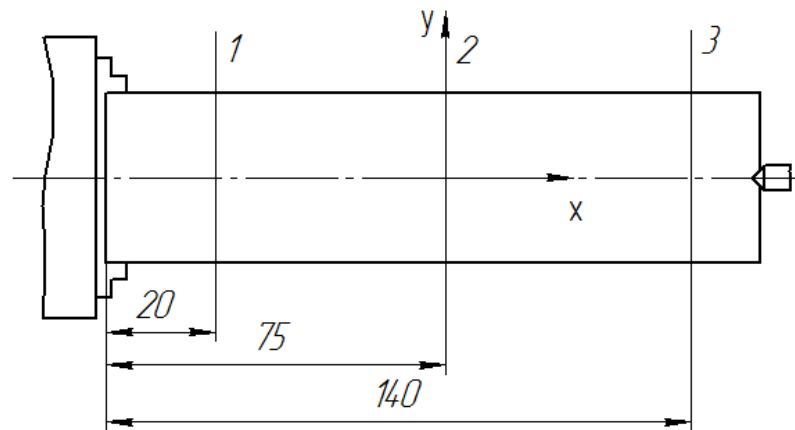


Рисунок 4.21 - Розрахункова схема досліджуваної заготовки

Заготовка ($\varnothing 150 \times 150$ мм) закріплена у трикулачковому патроні. Правий торець підгорнутий заднім центром. Закріплення даної деталі забезпечує початкові переміщення уздовж осей X і Y рівне нулю.

Задано граничні умови: модуль пружності $E_p = 2800$ МПа, коефіцієнт Пуассона $\nu = 0,325$.

Напруга й деформація деталі досліджується в декількох перетинах: на врізанні (ближче до правого торця, перетин 3), посередині (перетин 2) і біля

закріплення (лівий торець, перетин 1). У розрахункових крапках прикладене навантаження P_z по кільцю циліндра (див. розділ 4.3). Розрахункова початкова схема МКЕ для оброблюваного циліндра представлена на рис.5.22 і результати розрахунків наведені в табл. 5.3, 5.4.

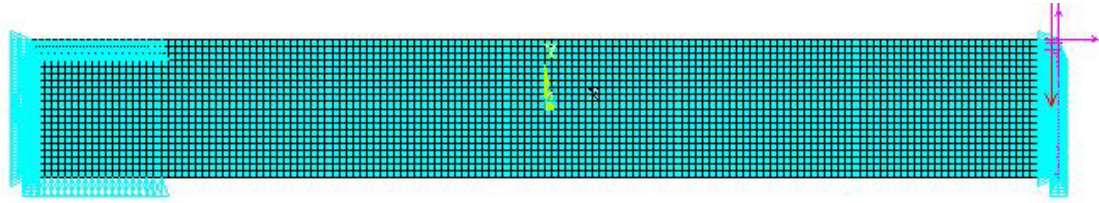


Рисунок 5.22 - Розрахункова схема циліндра $\varnothing 150 \times 150$ мм в в ANSYS

Таблиця 5.3 - Результати дослідження при чорновій обробці

Перетин	Режими різання	Деформація, мкм	Напруга, МПа
1	$V = 50$ м/хв; $S = 0,03$ мм/об $t = 3$ мм	0,326	0,534
2		3,529	0,55
3		1,132	0,54

Як видно з наведеної таблиці найбільші напруги й деформації заготовка випробовує при чорновому гострінні в перетині 2. Розрахункові картини й графіки напруги й деформації на чорновій операції в перетині 2 представлені на рис. 5.23 - 5.26. Рівень напруг, що перебуває в межах 0,5 – 0,6 МПа далекий від рівня критичних напружень для полістиролу в умовах температурного впливу (8 – 10 МПа). У такий спосіб запропоновані умови чорнової обробки ($V = 50$ м/хв; $S = 0,03$ мм/об; $t = 3$ мм) не є гранично припустимими в умовах формування полістирольного виробу ($T = 100$ мкм).

Однак параболічний характер деформацій і сумарна величина прогину говорить про граничні значення перетину зрізу, які можна рекомендувати при чорновій обробці.

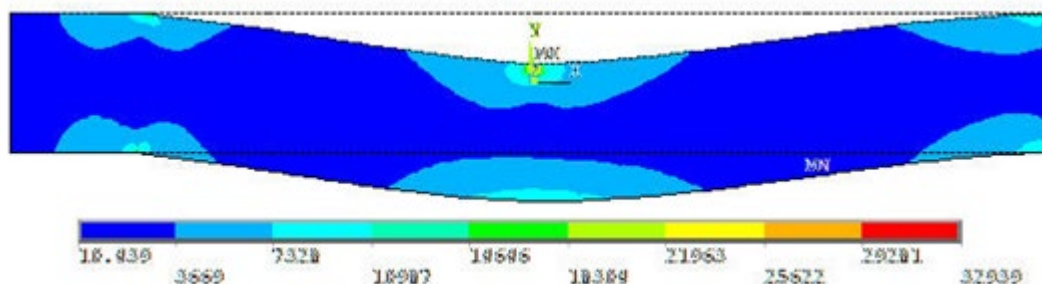


Рисунок 5.23 - Деформація деталі при чорновій обробці

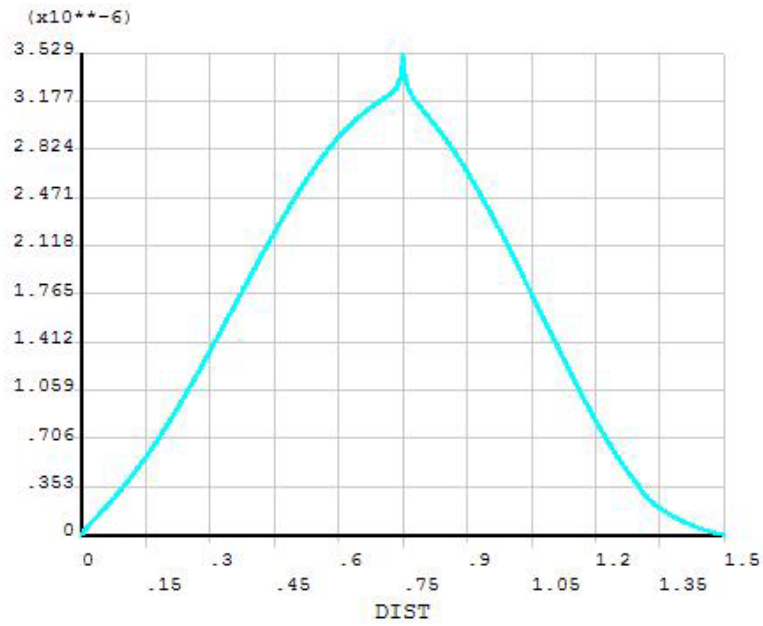


Рисунок 5.24 - Графік залежності деформації по довжині деталі

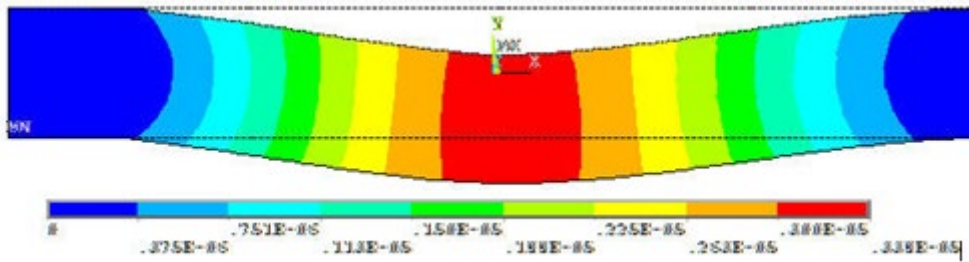


Рисунок 5.25 - Напруга деталі при чорновій обробці

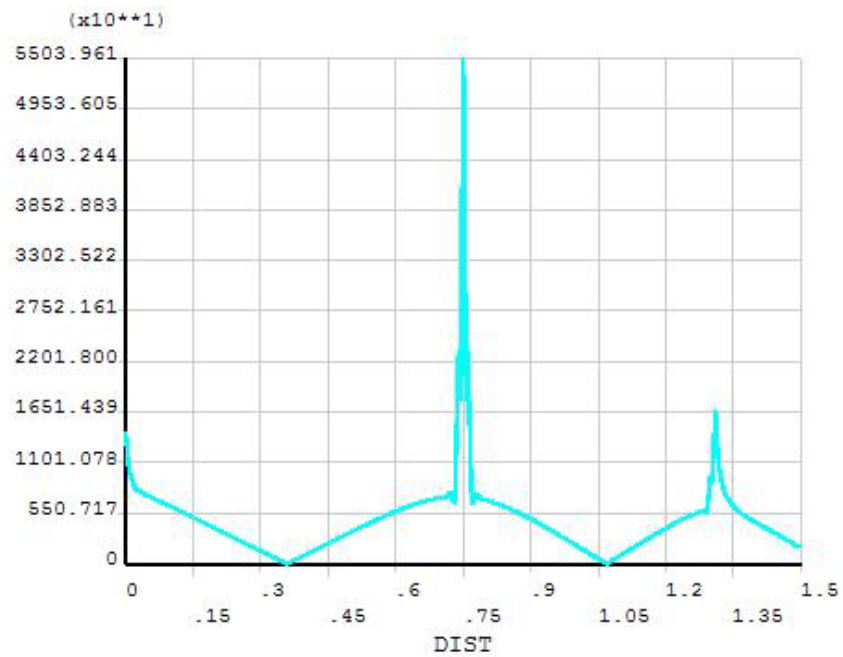


Рисунок 5.26 - Графік залежності напруги по довжині деталі

Таблиця 5.4 - Результати дослідження при чистовій обробці

Перетин	Режими різання	Деформація, мкм	Напруга, МПа
1	$V = 50$ м/хв; $S = 0,03$ мм/об $t = 0,25$ мм	0,049	0,0809
2		0,535	0,0834
3		0,09	0,0817

Аналіз отриманих результатів показує, що найбільші напруги й деформації заготовка випробовує при чистовому гострінні в перетині 2. Розрахункові картини й графіки напруги й деформації при чистовій обробці в перетині 2 представлені на рис. 5.27 - 5.30. Рівень напруг на всій заготовці досить малий і перебуває в межах до 0,1 МПа в порівнянні із припустимими значеннями напруг для полістиролу в умовах температурного впливу (8 – 10 МПа). Тому запропоновані умови чистової обробки ($V = 50$ м/хв; $S = 0,03$ мм/об; $t = 0,25$ мм) можна рекомендувати як раціональні при чистовій обробці полістирольного виробу.

При цих умовах обробки ми уникаємо наявності хвилястості на поверхні деталі, що позитивно позначається на функціональних оптичних властивостях виробу.

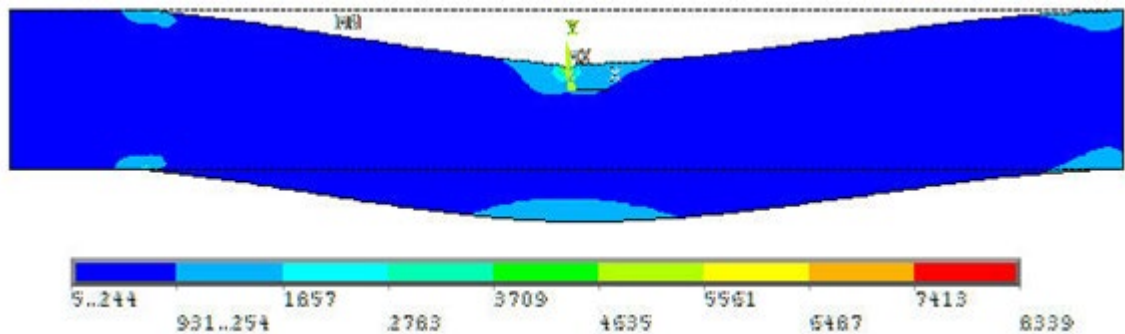


Рисунок 5.27 - Деформація при чистовій обробці

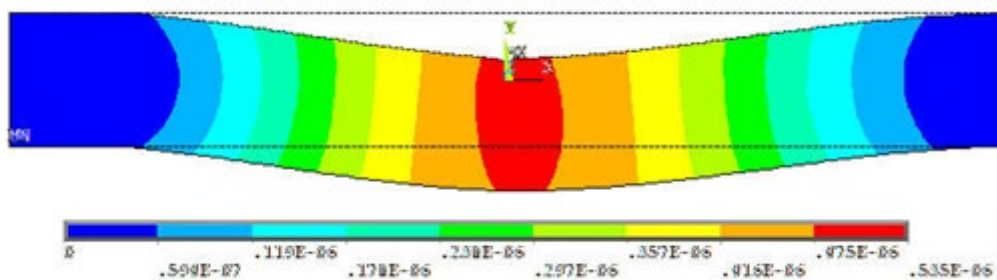


Рисунок 5.28 - Напруга при чистовій обробці

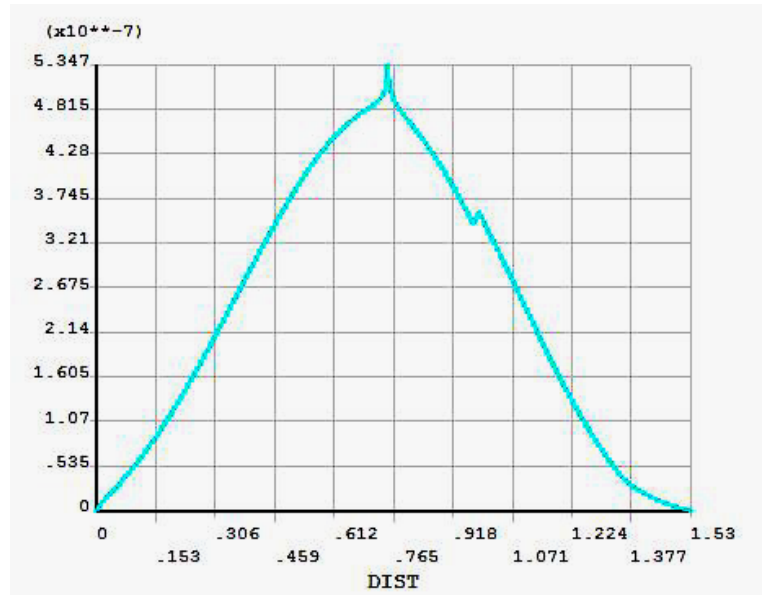


Рисунок 5.29 - Графік залежності деформації по довжині деталі

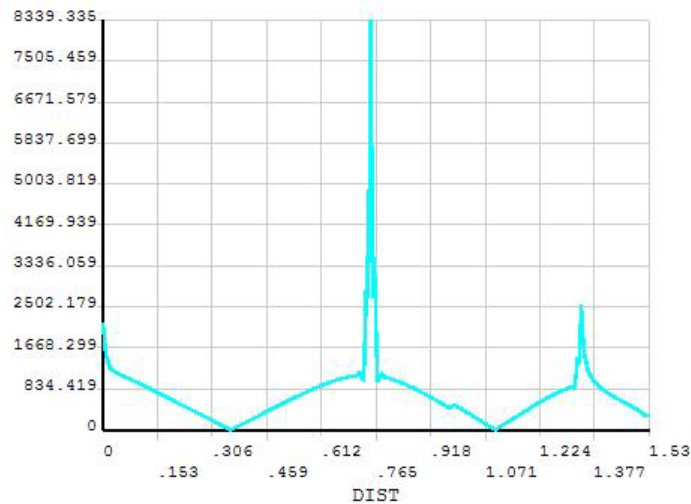


Рисунок 5.30 - Графік залежності напруги по довжині деталі

5.3.3 Моделювання призми $800 \times 150 \times 150$ мм.

Розглянемо напруги й деформації, що виникають при обробці призми. Розрахункова схема для призми ($800 \times 150 \times 150$ мм) на операції гостріння представлена на рис. 4.31.

Призматична заготовка ($800 \times 150 \times 150$ мм) закріплена в механічних лещатах. Закріплення даної деталі забезпечує початкові переміщення уздовж осей X і Y рівне нулю.

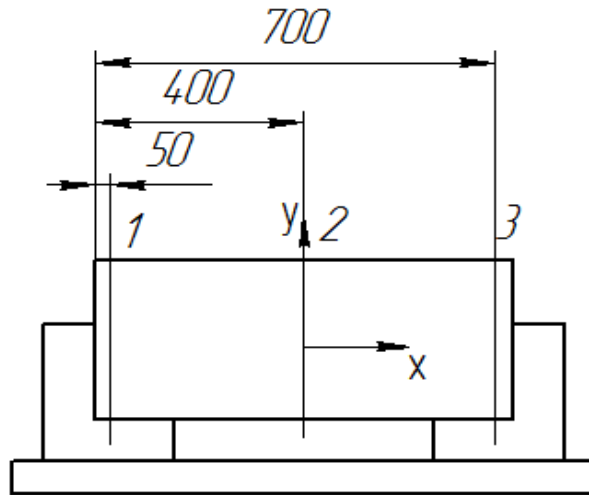


Рисунок 5.31 - Розрахункова схема досліджуваної заготовки

Задано граничні умови: модуль пружності $E_p = 2800$ МПа, коефіцієнт Пуассона $\nu = 0,325$.

Напруга й деформація деталі досліджується в декількох перетинах: на врізанні (ближче до правого торця, перетин 3), посередині (перетин 2) і біля закріплення (лівий торець, перетин 1). У розрахункових крапках прикладене навантаження Pz по лінії розрахована в розділі 4.3. Дослідження проводилися при чорновій і чистовій обробці деталей. Розрахункова початкова схема МКЕ для оброблюваної призми представлена на рис. 5.32 і результати розрахунків наведені в табл. 5.5, 5.6.

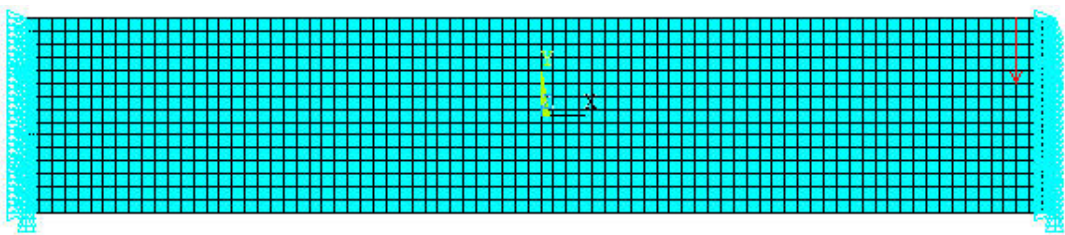


Рисунок 5.32 - Розрахункова схема призми в ANSYS.

Таблиця 5.5 - Результати дослідження при чорновій обробці

Перетин	Режими різання	Деформація, мкм	Напруга, МПа
1	$V = 50$ м/хв; $S = 0,03$ мм/зуб $t = 3$ мм	0,226	0,313
2		1,952	0,549
3		0,372	0,534

Дані з наведеної таблиці показують, що найбільші напруги й деформації призматична заготовка випробовує при чорновому гострінні в перетині 2. Розрахункові картини й графіки напруги й деформації на чорновій операції в перетині 2 представлені на рис. 5.33, 5.34, 5.35, 5.36. Рівень напруг, що перебуває в межах 0,5 – 0,6 МПа далекий від рівня критичних напружень для полістиролу в умовах температурного впливу (8 – 10 МПа). Тому запропоновані умови чорнкової обробки ($V = 50$ м/хв; $S = 0,03$ мм/об; $t = 3$ мм) не є гранично припустимими в умовах формування полістирольного виробу й ми можемо збільшати значення подачі й глибини різання.

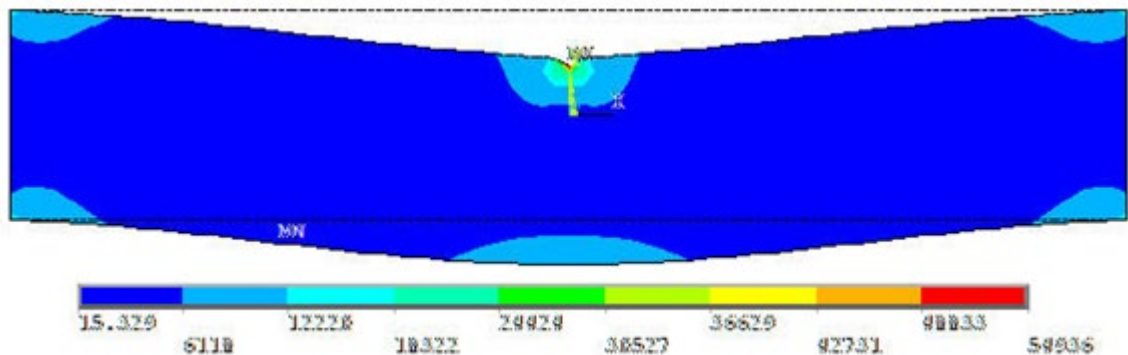


Рисунок 5.33 - Деформація деталі при чорновій обробці

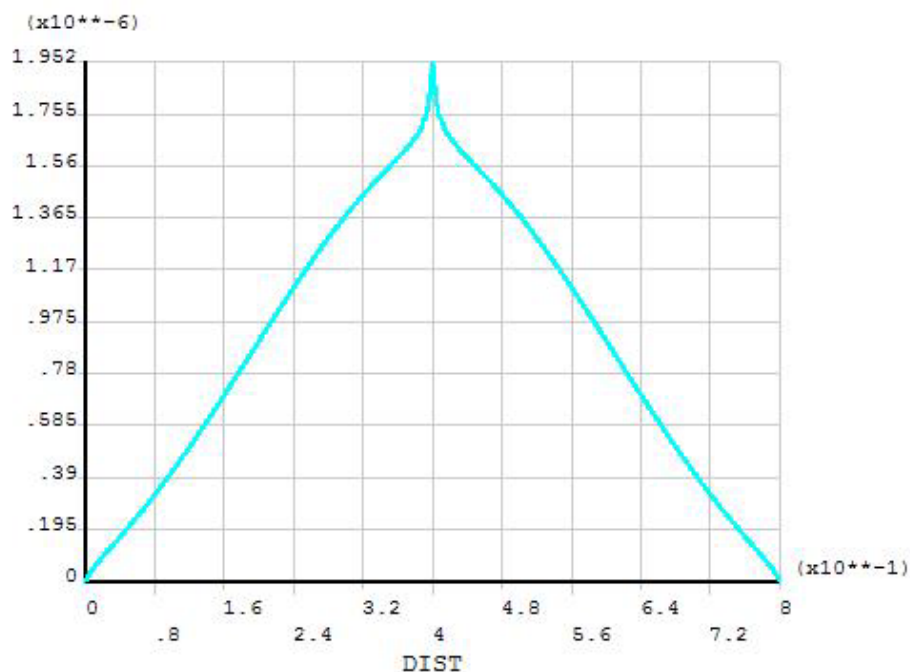


Рисунок 5.34 - Графік залежності деформації по довжині деталі

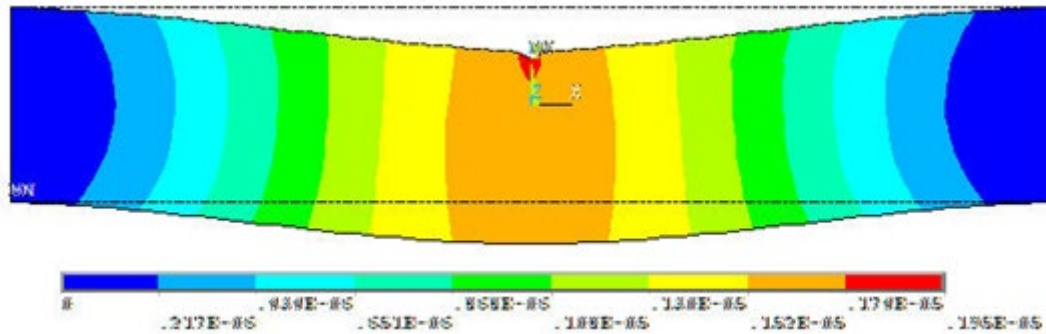


Рисунок 5.35 - Напруга деталі при чорновій обробці

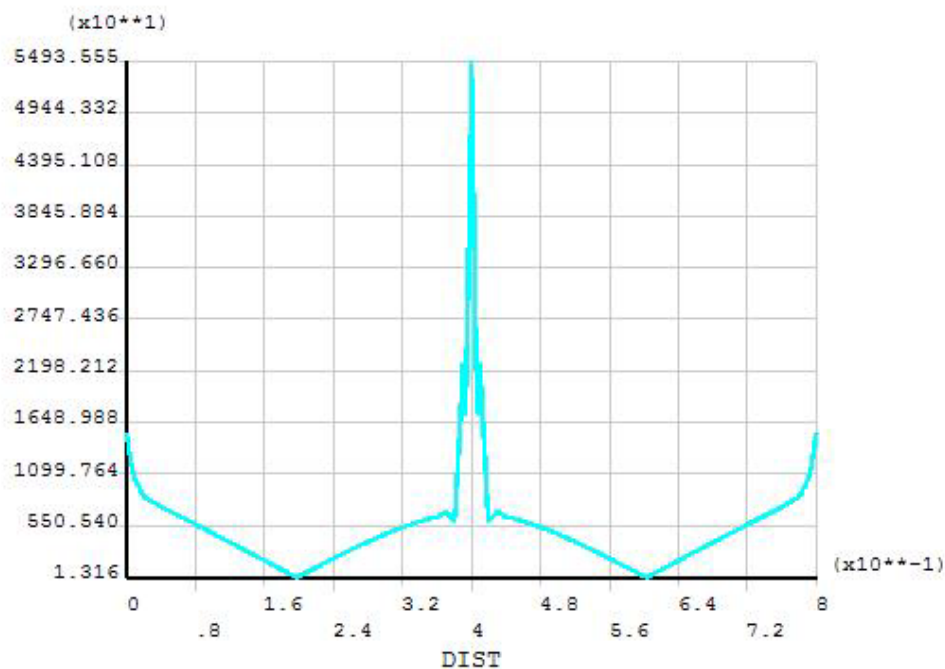


Рисунок 5.36 - Графік залежності напруги по довжині деталі

Таблиця 5.6 - Результати дослідження при чистовій обробці

Перетин	Режими різання	Деформація, мкм	Напруга, МПа
1	$V = 50$ м/хв; $S = 0,03$ мм/зуб $t = 0,25$ мм	0,05	0,0809
2		0,296	0,0832
3		0,056	0,0817

Найбільші напруги й деформації призматична заготовка випробовує при чистовому гострінні в перетині 2, також як і при чорновій обробці. Розрахункові картини й графіки напруги й деформації на чистовій обробці в перетині 2 представлені на рис. 5.37 - 5.40. Рівень напруг на всій заготовці досить малий і перебуває в межах до 0,1 МПа в порівнянні із припустимими значеннями напруг для полістиролу в умовах температурного впливу (8 – 10

МПа). Тому запропоновані умови чистової обробки ($V = 50$ м/хв; $S = 0,03$ мм/об; $t = 0,25$ мм) можна рекомендувати при формуванні полістирольного виробу на остаточних операціях.

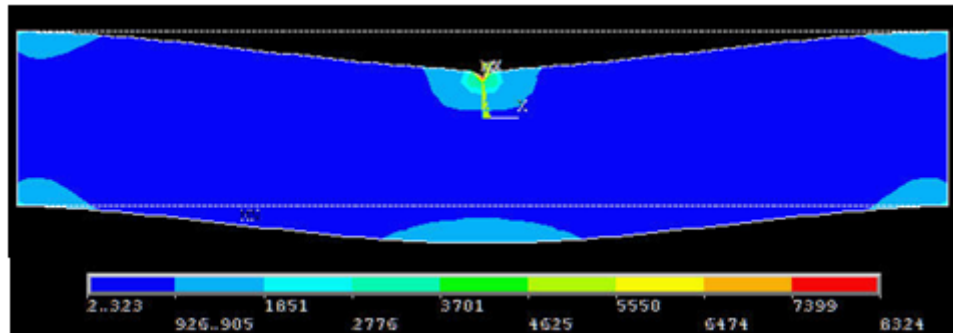


Рисунок 5.37 - Деформація при чистовій обробці

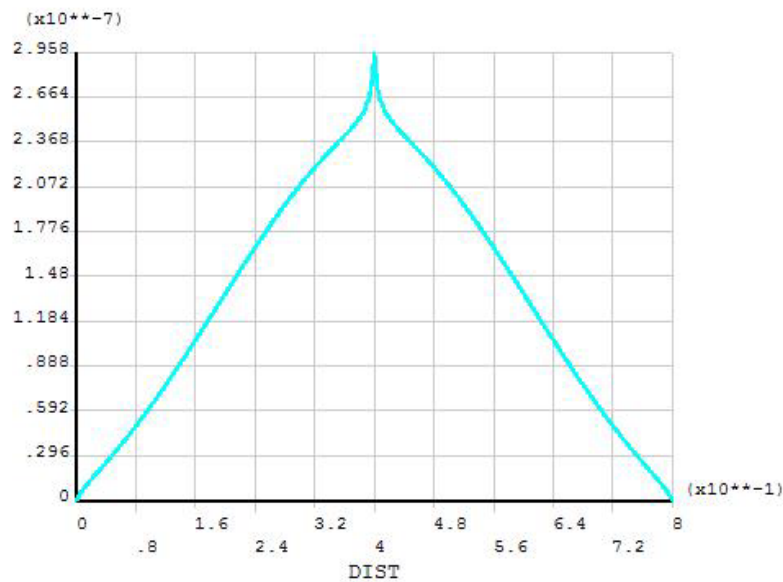


Рисунок 5.38 - Графік залежності деформації по довжині деталі

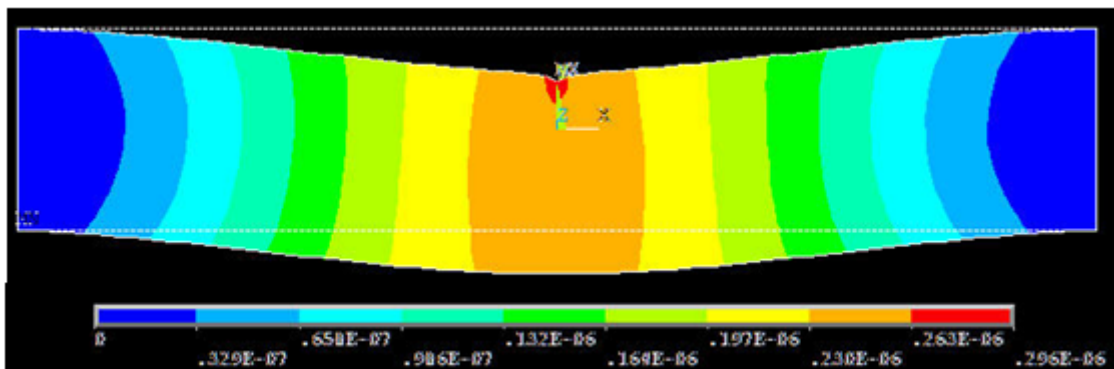


Рисунок 5.39 - Напряга при чистовій обробці

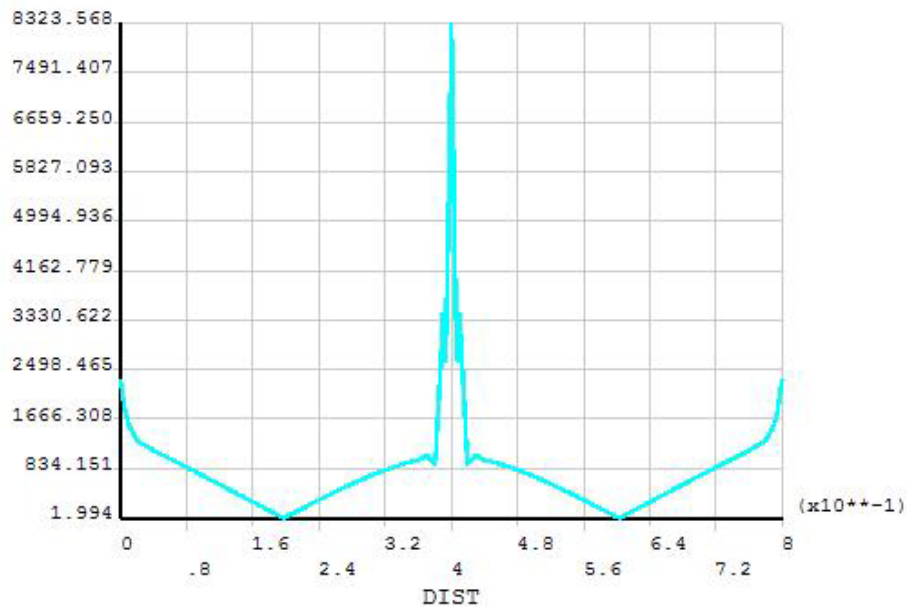


Рисунок 5.40 - Графік залежності напруги по довжині деталі

Проведені дослідження дозволяють зробити ряд висновків:

1. Найбільші напруги й деформації виникають при обробці довгомірних циліндричних деталей при чорновій обробці. Виникаючий рівень напруг і деформацій є гранично припустимим, який може виникати в оброблюваній заготовці. Очевидно, що глибина різання при чорновій обробці не повинна перевищувати 3 мм. Слід звернути увагу на виникаючу при чорновій і чистовій обробці хвилястість, яка може привести до значного погіршення світлових показників виробів.

2. Обробка коротких циліндрів і призм супроводжується невисоким рівнем напруг і деформацій. таким чином, запропоновані умови обробки (у першу чергу перетину зрізу) можна рекомендувати в якості оптимальних при чорновій і чистовій обробці.

6. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ «*TILE*»

Технологічний процес - головна частина виробничого процесу, що включає дії по зміні розмірів, форми, властивостей і якості поверхонь деталі, їх взаємного розташуванню з метою одержання потрібного виробу [42].

Використання типового технологічного процесу дозволяє спростити розробку технологічних процесів, підвищити якість цих розробок, заощадити година і скоротити витрати на технологічну підготовку виробництва. Розробка технологічного процесу містить у собі наступні етапи [43]:

- визначення технологічної класифікаційної групи деталі;
- вибір методу одержання деталі;
- вибір заготовок і технологічних баз;
- уточнення состава й послідовності операцій;
- уточнення обраних засобів технологічного оснащення.

У розділі вистав технологічний процес виготовлення деталі «*Tile*».

Деякі етапи технологічного процесу були розглянуті в попередніх розділах, такі як призначення деталі (розділ 2.1), фізико-механічні властивості матеріалу деталі (розділ 2.2), спосіб одержання заготовок (розділ 2.3), базування заготовки в пристосуванні (розділ 3.3, 4.3.3).

6.1 Характеристика й аналіз технологічності виготовлення деталі

6.1.1 Призначення деталі

Представлена на дипломне проектування деталь є складовою одиницею детектора CMS (Compact Muon Solenoid). Ці детектори складаються з великої кількості функціонально самостійних детектуючих пристроїв, призначених для реєстрації різного типу часток. Його складові – це безліч «*Tile*» - калориметрів, виготовлених з полімерної пластини товщиною 4 мм і розмірами сторін від 100 до 300 мм із обробленою канавкою під световод (рис. 2.2). “*Tile*”- калориметри входять також до складу таких відомих установок, як ZEUS (DESY, Німеччина), CDF (Fermilab, США), Lhc-b і ATLAS (CERN, Швейцарія).

Основні вимоги, пропоновані до «*Tile*» – це реєстрація сцинтиляційного сигналу. Рівень сигналу, у певній мері, залежить від световихода системи «тайл-волокно» і від оптичного контакту виробу з оптичним волокном.

6.1.2 Характеристика деталі

«*Tile*» є корпусною деталлю призматичної форми, що полягає з елементарних прямолінійних поверхонь і канавки під световод, профрезерованної по окружності на торці деталі. Габаритні розміри деталі $195 \times 195 \times 4$ мм. Найбільш точними поверхнями є 2 найбільших торця деталі, шорсткість яких досягає $Ra\ 0,03$. Розміри канавки $0,86 \times 1,6$ мм.

Від точності виготовлення пластини залежать її оптичні характеристики. Високу надійність роботи даної деталі можна забезпечити шляхом виконання всіх геометричних розмірів деталі й досягнення необхідної шорсткості поверхні.

Деталь виготовляли з оптично прозорих полімерів на основі полістиролу (UPS 97, UPS 99), як найбільше широко використовуваного при виробництві виробів із пластмасових сцинтиляторів.

Основні фізико-механічні властивості оброблюваного матеріалу наведене в розділі 1 у табл. 2.1.

6.1.3 Аналіз технологічності

Усі оброблювані поверхні мають вільний доступ для роботи й для виходу інструмента. Деталь досить технологічна, допускає застосування високопродуктивних режимів обробки, має гарні базові поверхні для первісних операцій і досить проста по конструкції.

Масу деталі визначаємо по формулі:

$$m = \rho \cdot V \quad (6.1)$$

де m – маса, кг;

$\rho = 1050$ кг/м³ – щільність,

$$V = 152100 \text{ мм}^3 = 0,000152 \text{ м}^3 - \text{обсяг.}$$

$$m = \rho / V = 0,161 \text{ кг}$$

Знайдемо масу заготовки:

$$m_3 = m_0 \cdot k = 0,161 \cdot 1,3 = 0,207 \text{ кг}$$

Маса деталі становить 0,16 кг.

Коефіцієнт використання матеріалу $K_{и.м.}$ визначається по формулі

$$K_{и.м.} = m / m_3, \quad (6.2)$$

де m - маса деталі;

m_3 - маса заготовки.

$$K_{и.м.} = 0,161 / 0,207 = 0,78;$$

Ескіз деталі з нумерацією поверхонь зображений на рисунку 6.1.

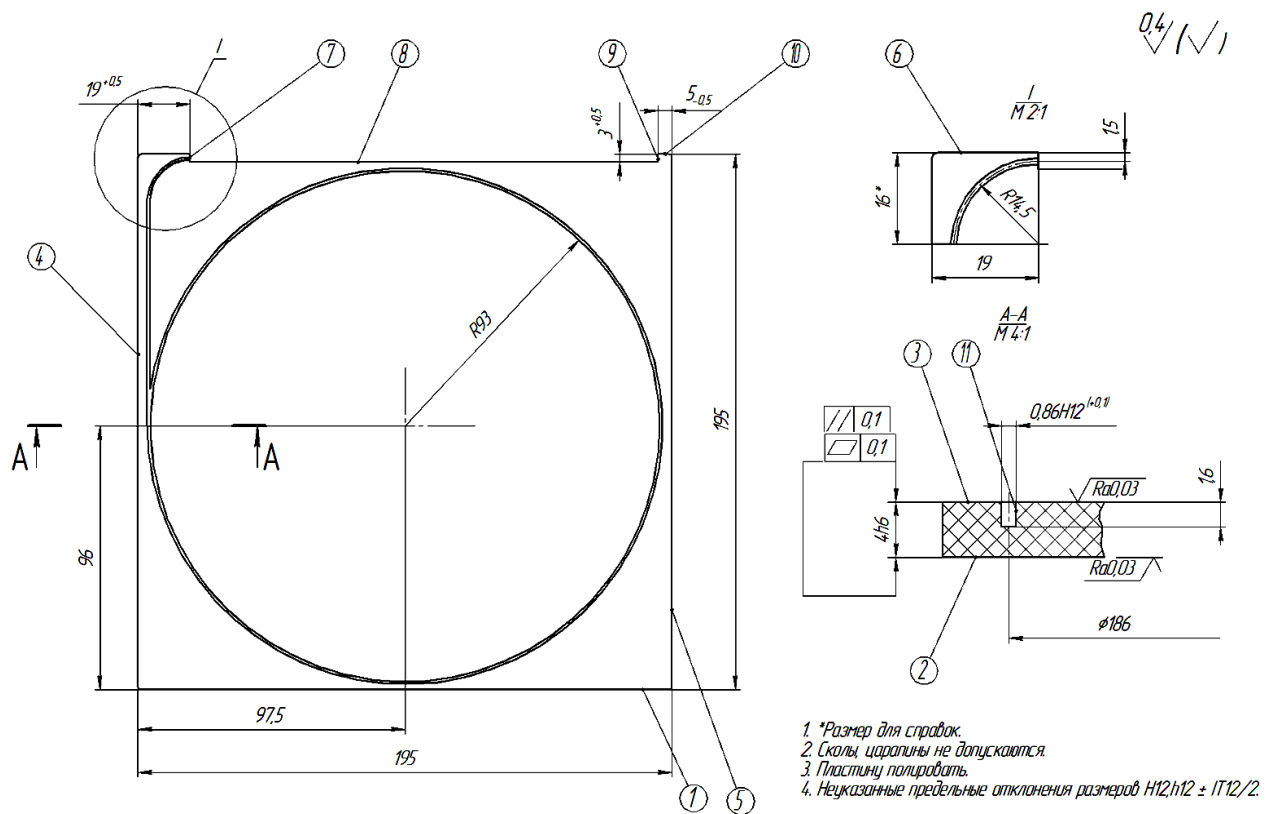


Рисунок 6.1 - Ескіз деталі «Tile»

6.2 Розробка маршруту виготовлення деталей оптичних полімерів

Маршрут виготовлення деталі - це укрупнений план маршруту обробки виробу. Він уміщає в собі всі види допоміжних слюсарних, слюсарно-складальних, контрольних робіт, необхідних для виготовлення виробу і їх послідовність. Метою цього етапу є призначення загального плану обробки деталей, побудова технологічного маршруту й попередній вибір устаткування.

Маршрутна технологія включає встановлення послідовності й змісту технологічних і допоміжних операцій виготовлення деталей. Послідовність виготовлення визначається на основі технологічних схем і додаткових міркувань.

При розробці маршруту виготовлення деталей оптичних полімерів, слід урахувати класичні рекомендації, застосовувані для розробок маршрутів виготовлення деталей з металів:

- Насамперед, слід остаточно обробляти ті поверхні деталей, до яких задане найбільше число вимог точності, тобто найбільш важливі конструкторські бази;

- Від підготовлених на першій операції технологічних баз, планують обробку інших поверхонь. В останню чергу повинні оброблятися найбільш точні й поверхні, які можна легко ушкодити.

- Якщо на деяких точних поверхнях деталі дефекти (наприклад, пористість) неприпустимі, те з метою підвищення ефективності виробництва за рахунок скорочення брака остаточно обробка цих поверхонь може бути проведена на качану технологічного процесу;

- При проектуванні маршруту обробки необхідно прагнути до скорочення кількості перестановок деталі з верстата на верстат (особливо для важких деталей), до скорочення шляху транспортування деталей;

- Технологічний контроль передбачається перед складними операціями, термічною обробкою, наприкінці технологічного процесу.

Розробку маршрутного техпроцесса робимо на підставі обраного типу виробництва, дотримання основних принципів базування, сполучення й сталості баз.

Розроблений маршрут технологічного процесу обробки деталі «tile» вистав у табл.6.1.

Таблиця 6.1 – Розробка маршруту виготовлення деталі «Tile»

№ операції	Найменування операції	Зміст переходу
005	Різання	1. Порізати заготовку на розміри 1, 2, 3
010	Фрезерна	1. Установити, закріпити й зняти заготовку. 2. Фрезерувати, витримавши розміри 1,2. 3. Вибірковий контроль 20%.
015	Фрезерна	1. Установити, закріпити й зняти заготовку. 2. Фрезерувати, витримавши розмір 1,2. 3. Вибірковий контроль 20% .
020	Фрезерна	1. Установити, закріпити й зняти заготовку. 2. Фрезерувати, витримавши розміри 1. 3. Вибірковий контроль 20%.
025	Фрезерна	1. Установити, закріпити й зняти заготовку 2. Фрезерувати, витримавши розмір 1. 3. Вибірковий контроль 20%
030	Фрезерна	1. Установити, закріпити й зняти заготовку. 2. Фрезерувати, витримавши розміри 1,2. 3. Вибірковий контроль 20% .
035	Фрезерна	1. Установити, закріпити й зняти заготовку. 2. Фрезерувати, витримавши розміри 1,2. 3. Вибірковий контроль 20% .
040	Фрезерна	1. Установити, закріпити й зняти заготовку. 2. Фрезерувати, витримавши розміри 1,2. 3. Вибірковий контроль 20% .
045	Фрезерна	1. Установити, закріпити й зняти заготовку. 2. Фрезерувати, витримавши розміри 1,2,3,4,5,6,7,8. 3. Вибірковий контроль 20% .
050	Фрезерна	1. Установити, закріпити й зняти заготовку. 2. Фрезерувати канавку, витримавши розміри 1,2,3,4,5,6,7,8,9. 3. Вибірковий контроль 20% .
055	Полірувальна	1. Установити, закріпити й зняти заготовку 2. Полірувати, витримавши розмір 1 3. Вибірковий контроль 20% .
060	Полірувальна	1. Установити, закріпити й зняти заготовку 2. Полірувати, витримавши розмір 1 3. Вибірковий контроль 20% .
065	Промивання деталі	
070	Контрольна	1.Відсутність тріщин, пухирців і оптичних дефектів; 2. Шорсткість; 3. Контролювати розміри 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7

6.3 Розрахунки проміжних розмірів деталі

Призначення оптимальних припусків на обробку заготовки має велике значення при проектуванні техпроцеса. Збільшені припуски збільшують трудомісткість механічної обробки, відходи матеріалу, витрати різального інструменту, електроенергії та ін. Зменшені припуски збільшують трудомісткість і собівартість одержання заготовки в заготівельному цеху.

По [32] вибираємо допуски на міжопераційні припуски й затягаємо їх у таблицю. Знаючи ці припуски, знаходимо граничні розміри вибору для кожної операції, округляючи їх значення до десяткової крапки, з якої даний допуск на розмір, і затягаємо ці дані в таблицю 6.2.

Мінімальна й максимальна довжина при фрезеруванні деталі знаходять по формулах:

$$l_{\min i-1} = l_{\min i} + z_{\min i}, \quad (6.3)$$

$$l_{\max i-1} = l_{\min i-1} + TD_{i-1}, \quad (6.4)$$

$$l_{cp i} = \frac{l_{\max i} + l_{\min i}}{2}, \quad (5.5)$$

де l – довжина заготовки, мм;

$Z_{\min}$ – мінімальний припуск на обробку [32];

TD_{i-1} – допуск розмірів на попередньому переході; установлюється в

залежності від квалітету й номінального раз захід [32], а для заготовки залежно від маси й ступеня складності.

Таблиця 6.2 - Розрахунки проміжних розмірів заготовки

Технологічний маршрут обробки	$z_{\min}$ мкм	Квалитет	TD , мкм	Прийняті розміри, мм		
				$l_{\max}$	$l_{\min}$	l_{cp}
195($\pm 0,23$)						

Заготовка	—	$\begin{smallmatrix} +0,6 \\ -2,3 \end{smallmatrix}$	2900	200,64	196,74	$200\begin{smallmatrix} +0,6 \\ -2,3 \end{smallmatrix}$
Фрез. черн.	1000	14	1150	196,89	195,74	196,32
Фрез. чистий.	100	12	460	196,1	195,64	195,87
Фрез. черн.	1000	14	1150	195,79	194,64	195,22
Фрез. чистий.	100	12	460	195,23	194,77	194,77
4($\begin{smallmatrix} -0,008 \end{smallmatrix}$)						
Заготовка	—	$\begin{smallmatrix} +0,5 \\ -0,25 \end{smallmatrix}$	750	7,28	6,53	$7\begin{smallmatrix} +0,5 \\ -0,25 \end{smallmatrix}$
Фрез. черн.	1000	14	300	5,83	5,53	5,68
Фрез. напівчистий.	200	12	120	5,45	5,33	5,39
Фрез. черн.	1000	14	300	4,63	4,33	5,31
Фрез. напівчистий.	200	12	120	4,25	4,13	4,43
Фрез. чистий.	50	10	48	4,13	4,08	4,14
Фрез. чистий.	50	10	48	4,08	4,03	4,06
Полірування	20	6	8	4,02	4,01	4,02
Полірування	20	6	8	4	3,992	3,99

6.4 Конструювання малорозмірного різального інструменту для фрезерування полістирольних виробів

Вибір інструментального матеріалу й геометричних параметрів малорозмірного інструмента для обробки полістирольних виробів.

Забезпечити ефективну обробку полімерних матеріалів можна шляхом використання різального інструменту з алмазних надтвердих матеріалів, твердих сплавів і швидкорізальної сталі, у конструкції якого враховані основні положення механіки різання й особливості процесу лезвийної обробки полімерів [1, 17, 19, 44, 45, 46, 47, 48, 49].

Як ми вже відзначали, для чистової обробки полімерних виробів у більшості випадків ефективно використовувати алмазний інструмент, який має високу теплопровідність і мінімальний коефіцієнт тертя. Незважаючи на високу вартість, алмазний інструмент забезпечує найбільш економічну обробку полімерів і дозволяє одержати оптичні вироби з високими експлуатаційними показниками. Стійкість алмазного монокристалічного інструмента при обробці оптичних полімерів у сотні раз перевищує стійкість інструмента із синтетичних

надтвердих матеріалів і в тисячі раз перевершує стійкість інструментів зі швидкорізальної сталі й твердого сплаву [50, 13]. При обробці алмазним інструментом збільшення радіуса округлення ріжучих крайок незначно.

На чистових і напівчистових операціях і при обробці фасонних поверхонь доцільно застосовувати інструменти з ріжучою частиною з вольфрамокобальтового твердого сплаву, що володіє досить високою теплопровідністю й дрібнозернистою структурою, а також інструменти зі швидкорізальної сталі [1].

Важливим моментом при обробці розглянутих нами виробів «Tile» є обробка канавки під світловод, яка має контур (рисунок 6.2).

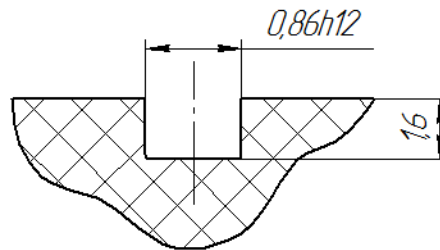


Рисунок 6.2 - Канавка виробу «Tile»

Для її одержання застосовують кінцеву фрезу $\varnothing 0,86$ мм. У якості інструментального матеріалу технологічно доцільно вибрати швидкорізальну сталь (добрі зарекомендував собі інструмент із P6M5).

З урахуванням рекомендацій по проектуванню різального інструменту для обробки пластмас [1, 51] обрані основні геометричні параметри для циліндричної кінцевої фрези. Виходячи із заданої ширини паза, діаметр фрези ухвалюємо рівним $d = 0,86$ мм. Для забезпечення рівномірної роботи інструмента, максимального обсягу канавок і легені сходу стружки, число зубів ухвалюємо $z = 2$. Вибираємо хвостовик фрези циліндричної форми з діаметром рівним 3 мм.

Для зменшення тертя по задній поверхні задній кут фрези ухвалюємо $\alpha = 30^\circ$. Проаналізувавши умови кінцевого фрезерування канавки й опираючись на існуючі рекомендації [1], передній кут фрези – $\gamma = 0^\circ$. По формулі $\psi = \arccos(1 - 2t/d)$, де t – глибина фрезерування рівна при кінцевому фрезеруванні

діаметру фрези d , розраховуємо кут контакту фрези із заготовкою, який склав $\psi = 180^\circ$.

Кутовий крок зубів розраховуємо по формулі $\varepsilon = 360/z$, а кут нахилу зубів фрези ухвалюємо $\omega = 20^\circ$. Для того, щоб забезпечити максимальне розміщення стружки в канавці, кут канавки ухвалюємо рівним $\nu = 180^\circ$. Вибираємо головний кут у плані $\phi = 90^\circ$.

Виходячи з того, що зусилля різання при фрезеруванні полімерів не велике [50], форму зуба фрези ухвалюємо трапецоїдну (рис. 6.3). Ця форма проста у виготовленні, хоча зуб трохи ослаблений.

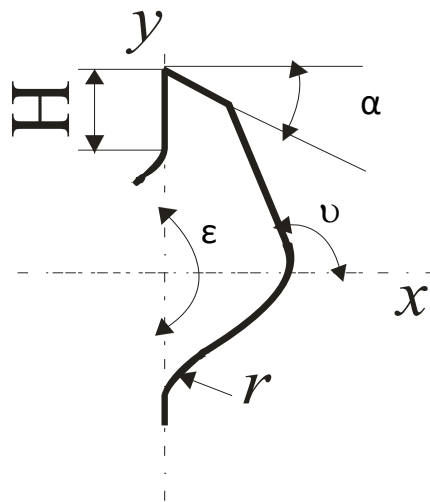


Рисунок 6.3 – Геометричні параметри осьового різального інструменту
(форма зуба трапециїдальна $\gamma = 0^\circ$)

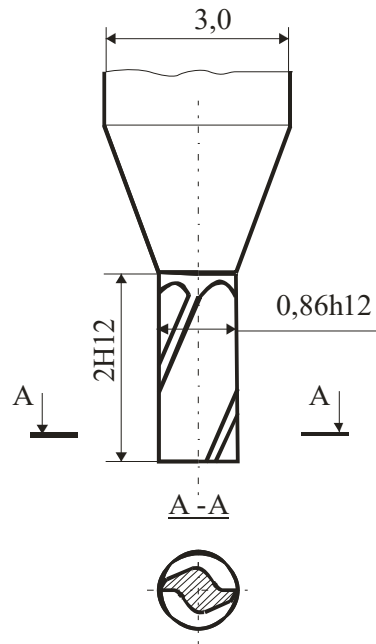
Висоту зуба фрези H ухвалюємо $H = (0,27 \div 0,32) t_{\text{окр}}$, де $t_{\text{окр}}$ – окружний крок зубів, який розраховується по формулі $t_{\text{окр}} = \pi d/z$. Радіус закруглення дна западини розраховуємо по формулі $r = 0,4H$.

Розрахунки висоти зуба інструмента робимо по двом варіантам, коли вона мінімальна ($H_{\min} = 0,27 t_{\text{окр}}$) і максимальна ($H_{\max} = 0,32 t_{\text{окр}}$). Дані по двом варіантам розрахунків і обрані геометричні параметри ріжучого осьового інструмента представлені в табл. 6.3.

Таблиця 5.3 - Геометричні параметри осевого інструмента

Висота зуба фрези, H , мм	Параметри													
	D_{Φ} , мм	z	D_x , мм	α°	γ°	ψ°	ε°	ν°	ω°	φ°	H , мм	$t_{окр}$, мм	r , мм	форма зуба
H_{min}	0,86	2	3	30	0	180	180	110	20	90	0,36	1,35	0,14	трапеции дальняя
H_{max}	0,86	2	3	30	0	180	180	110	20	90	0,432	1,35	0,173	трапеции дальняя

Конструкція розробленої фрези представлена на рисунку 6.4.

Рисунок 6.4 – Циліндрична кінцева фреза $\varnothing 0,86$ мм

6.5 Вибір верстатного обладнання

Модель верстата визначають згідно з обраним методом обробки, змісту операцій, точності обробки й типу виробництва, враховуючи розміри заготовки.

Моделі верстатів і їх технічні характеристики вибираємо з каталогів або довідників і затягаємо в таблиці 5.4, 5.5 [52].

6.6 Вибір верстатного пристосування

Тип і конструктивні особливості затискних пристосувань для виконання кожної технологічної операції визначають із обліком обраної теоретичної схеми базування деталі й типу виробництва. При виборі конструкцій кращі швидкодіюч, що перенастроюються, універсально-складальні пристосування.

Вакуумний стіл дозволяє надійно закріпити заготовку з оптичного полімеру. Пристосування працює за принципом використання атмосферного тиску для притиску заготовки [52]. Заготовка встановлюється на плиту пристосування, з порожнини якого видаляють повітря. Заготовка до плити пристосування притискається атмосферним тиском. Герметичність системи забезпечують ущільненням з гумового шнура. Ущільнювальний шнур виконують із вакуумної гуми марок 1015, 9024 або 7889 ДЕРЖСТАНДАРТ 1779-83.

Використання вакуумних столів дозволяє уникнути вібрації й осциляцій під час обробки на верстаті, а так само небажаних прогинів і інших деформацій деталі, що виникають при використанні традиційних способів закріплення. Сила закріплення достатня для виконання операцій обробки й чистової обробки.

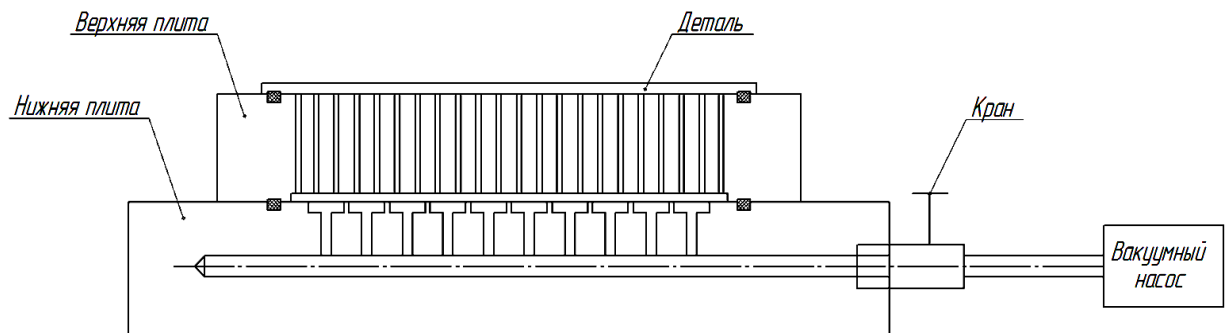


Рисунок 6.5 - Схема вакуумного стола

6.7 Призначення режимів різання

На відміну від нормативних режимів різання металів, режими різання для виробів полімерної оптики повинні бути трохи видозмінені у зв'язку із властивостями оброблюваного матеріалу, високими вимогами до експлуатаційних характеристик готових виробів і стабільності цих характеристик із часом. Слід урахувати температурний режим у зоні різання, тому що можливі деформування деталей, деструкція матеріалу, виділення шкідливих газотвірних продуктів і пили.

Виходячи з вимоги високої якості поверхневого шару – його мінімальною дефектністю й досягненню рівня шорсткості поверхні по параметру середньоарифметичного відхилення профілю $Ra = 0,25..0,35$ мкм (критерій достатньої шорсткості) – вихідні параметри оптичних полімерів визначають необхідність обробки з відносно низькою швидкістю різання ($v = 50$ м/хв) і малим перетином зрізу ($S_0 = 0,01$ мм/об; $t = 0,3$ мм) на чистових операціях за умови використання однозубого інструмента й обов'язковим використанням ЗОТС. При зниженні вимог до довговічності і якості поверхневого шару готових виробів на чорнових операціях можливе застосування високих швидкостей різання (більш 450 м/хв) з одночасним збільшенням перетину зрізу ($S_0 = 0,03..0,05$ мм/об; $t = 0,5..1,0$ мм).

Слід урахувати, що температура в зоні різання визначається не тільки швидкістю різання, швидкістю подачі, глибиною різання, властивостями оброблюваного матеріалу, але й правильністю і якістю заточення різального інструменту й властивостями матеріалу ріжучого клина.

Виходячи з даних вимог [6, 8, 12, 13] призначені оптимальні режими різання для виробів полімерної оптики на основі полістиролу наведені в табл. 6.6.

Таблиця 6.6 - Режими різання при обробці деталі «Tile»

Операція	Елементи режимів різання			
	t, мм	S, мм/зуб	V, м/хв	n, хв ⁻¹
010 фрезерна	1,22	0,1	500	800
	0,29	0,05	800	1300
015 фрезерна	0,88	0,1	500	800
	0,29	0,05	800	1300
020 фрезерна	0,8	0,03	1000	1600
025 фрезерна	0,8	0,03	1000	1600
030 фрезерна	1,87	0,1	100	1600
	0,45	0,03	50	800
035 фрезерна	0,65	0,1	100	1600
	0,45	0,03	50	800
040 фрезерна	1,87	0,1	100	1600
	0,45	0,03	50	800
045 фрезерна	0,65	0,1	200	800
	2,77	0,04	200	800
	0,45	0,03	100	400
	0,2	0,03	100	400
050 фрез. канавки	1,55	0,05	25	8000
055 полірування	0,04	0,01 мм/об	25 м/с	1400
060 полірування	0,024	0,01 мм/об	25 м/с	1400

6.8 Технічне нормування

Нормування часу на виконання операції в умовах серійного виробництва встановлюють розрахунковим методом. Норма штучного часу для операції розраховується по формулі:

$$t_{\text{шт}} = t_o + t_d + t_{\text{техн.обс}} + t_{\text{орг.обсл}} + t_{\text{пер}}, \quad (6.6)$$

де t_o - основний час обробки, хв.;

t_d - допоміжний час обробки, хв.;

$$t_d = t_{d1} + t_{d2} + t_{d3} + t_{d4} + t_{d5}, \quad (5.7)$$

де t_{d1} - час на встановлення й зняття деталі, хв.;

t_{d2} - время на подвод и отвод инструмента, хв.;

t_{d3} - время на управление станком, мин;

t_{d4} - время на проведение контроля, хв.;

t_{d5} - время на индексацию делительных приборов, хв.;

$t_{пер}$ - время перерывов в работе, хв.;

$t_{тех.обсл}$ $t_{орг.обсл}$, - соответственно время технического и организационного обслуживания, хв.;

$$t_{тех.обсл} = \alpha \cdot t_{он} ; \quad (6.8)$$

$$t_{орг.обсл} = \beta \cdot t_{он} ; \quad (6.9)$$

$$t_{пер} = \gamma \cdot t_{он} ; \quad (6.10)$$

где α, β, γ - нормативные проценты от оперативного времени;

$t_{он}$ - оперативное время обработки, хв.;

$$t_{он} = t_o + t_d ; \quad (6.11)$$

В условиях серийного производства определяют норму штучно-калькуляционного времени:

$$t_{шт.к} = t_{шт} + \frac{T_{n-3}}{n} ; \quad (6.12)$$

де T_{n-3} - подготовительно-заключительное время, хв.;

$T_{n-3} = 22$ мин на партию деталей.

По [54] $\alpha=5\%, \beta=6\%, \gamma=25\%$

Результаты расчетов заносим в табл. 6.7

Табл. 6.7 – Норма времени на обработку детали «Tile»

Номер операции	t_o	t_d	$t_{обсл}$		$t_{пер}$	$t_{шт}$	T_{n-3}	n	$\frac{T_{n-3}}{n}$	$T_{шт.к}$
			$t_{тех.обсл}$	$t_{орг.обсл}$						
010	5,51	3,92	0,47	0,57	2,36	12,83	22	10000	0,0022	12,832
015	5,51	3,92	0,47	0,57	2,36	12,83				12,832
020	4,19	2,12	0,32	0,38	1,58	8,59				8,592
025	4,19	2,12	0,32	0,38	1,58	8,59				8,592
030	4,79	1,53	0,31	0,37	1,58	8,58				8,582
035	4,79	1,53	0,31	0,37	1,58	8,58				8,582
040	4,79	1,53	0,31	0,37	1,58	8,58				8,582
045	5,8	6,21	0,61	0,72	3,03	16,37				16,372
050	4,31	0,62	0,25	0,29	1,23	6,7				6,702
055	14,2	0,67	0,74	0,89	3,72	20,22				20,222
060	14,2	0,67	0,74	0,89	3,72	20,22				20,222

7. ДИДАКТИЧНИЙ ПРОЄКТ ФАКУЛЬТАТИВНОГО ЗАНЯТТЯ З ТЕМИ «УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ ОПТИЧНИХ ПОЛІМЕРІВ ДЛЯ СТВОРЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА» ДЛЯ СТУДЕНТІВ СПЕЦІАЛЬНОСТІ «ПРОФЕСІЙНА ОСВІТА. МАШИНОБУДУВАННЯ»

Механіка різання полімерів є ланкою, що визначає деформаційні і контактні процеси в зоні обробки, є ключем до нових технологічних рішень. В процесі введення ріжучого клину інструменту в заготовку відбувається направлене руйнування матеріалу в обсязі шару полімерів. Следством цього є розриви хімічних зв'язків полімеру, що приводять до виникнення вільних радикалів з наступною їх рекомбінацією, зародженню, зростанню і злиттю мікротріщин в магістральні при утворенні нових поверхонь. Порухення структури полімерного матеріалу, що виникає при різанні веде до появи люмінесценції (механолюмінесценції), яку можна розглядати як об'єктивний показник мікроруйнування матеріалу. Емісія фотонів люмінесценції безпосередньо зв'язана з елементарними актами модифікації структури матеріалу, що піддається навантаженню. Тому випромінювання з довжиною хвилі в видимій області спектру, що виникає при деформуванні полімерних матеріалів і є следством утворення в матеріалі структурних дефектів, можна розглядати як об'єктивний показник руйнування матеріалу. Взаємодія полімеру, який обробляється з ріжучим інструментом може бути також на молекулярному рівні, що виявляються в виді адгезії. Адгезійній взаємодії матеріалів сприяють температурно-силові умови на площинах контакту інструменту з матеріалом, що обробляється. Встановлено, що адгезійна взаємодія можлива при механічній деструкції, наприклад при невисокій долі термічної деструкції. Таким чином, при різанні полімеру звільняються вільні валентні радикали і виступають назовні окремі елементи в атомарному стані, що дозволяє вступати інструментальному матеріалу і полімеру в хімічну взаємодію. При цьому утворюються сполуки, які руйнуються і виникають знов. Певну роль в механізмі зносу інструменту при переривному різанні грають

циклічні температурно-силові навантаження, що посилюються високочастотними вібраціями. Щоб не допускати вищеназваних дефектів та проблем під час обробки потрібно вносити нові підходи до процесу різання оптичних полімерних матеріалів.

Для впровадження новітніх способів обробки потрібні висококваліфіковані фахівці, саме таких готує Українська інженерно-педагогічна академія за спеціальністю «Професійна освіта. Машинобудування».

Стратегічні цілі: сформувати здатність до виробничо-технологічної, організаційно-управлінської, науково-дослідної, конструкторської, технологічної, проектної діяльності на машинобудівних підприємствах усіх форм власності та науково-дослідної роботи у проектно-технологічних і викладацької роботи у навчальних закладах.

Дисципліна з якої буде розроблятися факультативне заняття: «Теорія різання та інструмент» з теми: «Удосконалення процесу різання оптичних полімерів для створення раціонального технологічного виробництва»

Мета вивчення дисципліни:

Студент повинен:

Знати:

- основні досягнення у галузі теорії різання та спеціальних процесах формоутворення;

- фізичні явища під час різання металів;
- основні особливості динаміки різання;
- теплові явища під час різання металів;
- шляхи інтенсифікації процесів обробки металів.

Вміти:

- виконувати розрахунки сил різання та потужності;
- розрахувати режими різання при різних видах обробки матеріалів різанням з умов раціональної експлуатації інструментів;
- набути навички проведення експериментальних досліджень, та обробки й аналізу отриманих даних.

7.1. Постановка цілей факультативного заняття (оперативних цілей)

Оперативні цілі - це проекти чи програми, які забезпечуватимуть досягнення стратегічних цілей. Вони визначають стратегічні цілі кількісно та мають терміни виконання

Відповідно до теорії В.П. Беспалько, існують чотири рівні засвоєння навчального матеріалу:

В межах нашої теми ми формуємо цілі до четвертого рівня сформованості, тому що передбачаємо творчий підхід студентів до виконання завдань з теми.

В таблиці 7.1 приведено оперативні цілі з теми.

Таблиця 7.1 - Постановка цілей факультативного заняття (оперативних цілей)

Цілі факультативного заняття	Цілі формування різних рівнів засвоєння навчального матеріалу	Умови досягнення	Результат у вигляді дій студентів
1	2	3	4
Сформувати вміння визначати, характеризувати та аналізувати особливості процесу удосконалення процесу різання оптичних полімерів для створення раціонального технологічного виробництва	I-II рівні. Мати загальне уявлення про оптичні полімери, основи різання оптичних полімерів, про технологічне виробництво, давати визначення особливостям оптичних полімерів, знати та пояснювати технологію різання оптичних полімерів, сформувати вміння пояснювати суть та розрізняти особливості процесу різання оптичних полімерів за рахунок створення та впровадження раціонального технологічного виробництва	Базові знання з дисципліни «Теорія різання та інструмент» стосовно теми	Сформовані вміння давати визначення таким поняттям як оптичні полімери, особливості обробки різанням оптичних полімерів, сформовані вміння пояснювати технологію впровадження раціонального технологічного виробництва в межах процесу обробки різанням оптичних полімерів

Продовження табл.7.1

1	2	3	4
	III – IV рівень. Сформувати вміння аналізувати особливості технології впровадження раціонального технологічного виробництва під час процесу обробки оптичних полімерів . Сформувати вміння надавати рекомендації та висувати пропозиції, а також розробляти нові підходи в межах удосконалення процесу обробки різанням оптичних полімерів для створення раціонального технологічного виробництва.	Виконання дій першого та другого рівнів	Сформовані вміння аналізувати особливості технології впровадження раціонального технологічного виробництва під час процесу обробки оптичних полімерів. Сформовані вміння надавати рекомендації та висувати пропозиції, а також розробляти нові підходи в межах удосконалення процесу обробки різанням оптичних полімерів для створення раціонального технологічного виробництва

7.2. Перелік літературних джерел з теми

Основні рекомендовані джерела

1. Єрмаков Ю.М. Комплексні способи ефективної обробки різанням / Ю.М. Єрмаков – Київ: Машинобудування, 2005. – 272 с.
2. Вerezub H.B., Lavrinenko S.M. Особливості руйнування полімерних композитних матеріалів під час механічної обробки // Механіка композиційних матеріалів. 1986. №6. – С.741-743.
3. Нарісава І. Міцність полімерних матеріалів: пер з яп. - Харків: Хімія, 1987. - 399 с.
7. Сенчишин В.Г., Вerezub H.B., Lavrinenko S.M. Технологія виробництва полімерних оптичних виробів. – К.: Техніка, 1992. – 79 с.
5. Бартенєв Г.М. Міцність та механізм руйнування полімерів. - Одеса: Хімія, 1986. - 280 с.
6. Штучний Б.П. Механічна обробка пластмас. - Житомир: Машинобудування, 1987. - 156 с.

7.3. Конструювання дидактичних матеріалів: аналіз структури навчального матеріалу факультативного заняття

План викладення теми: «Удосконалення процесу різання оптичних полімерів для створення раціонального технологічного виробництва»

1. Визначення та опис причин, , що ведуть до необхідності удосконалення технологічної системи при обробці різанням полімерних оптичних виробів

1.1 Автоколивання і вимушені коливання, що виникають в результаті імпульсного впливу сил при врізання і виходу інструмента

1.2 Змінюючи параметри технологічної системи (маса, жорсткість, демпфірування, режими різання)

1.3 Появи люмінесценції (механолюмінесценції)

1.4 Утворення в матеріалі структурних дефектів

2. Впровадження методів синтезу структури технологічного процесу та оптимального керування в напрямку впровадження автоматизованих технологічних систем з метою удосконалення процесу різання оптичних полімерів

3. Особливості впровадження нових концепцій до удосконалення процесу різання оптичних полімерів

3.1 Концепція системи підтримки прийняття рішень для синтезу оптимальних технологічних процесів, структури гнучких виробничих модулів та маршрутної технології виготовлення виробів полімерної оптики

3.2 Концепція системи підтримки прийняття рішень для синтезу раціональних технологічних процесів, структури гнучких виробничих модулів та маршрутної технології виготовлення виробів полімерної оптики

4. Сутність впровадження автоматизації керування в технологічних системах рішень для синтезу оптимальних технологічних процесів виготовлення оптичних полімерних виробів

4.1 Застосування методів штучного інтелекту

4.2 Впровадження продукційних правил

4.3 Використання нейронних мереж

На рисунку 7.1 представимо структурно-логічну схему з теми «Удосконалення процесу різання оптичних полімерів для створення раціонального технологічного виробництва».

7.4. Аналіз базових умов навчання

Базові знання - це початкова умова, яка необхідна для вивчення нового матеріалу. Вони відображують ті мінімальні вміння та здатності, якими повинні володіти ті що навчаються до того як вони почали програмне навчання.

В таблиці 7.2 приведено вибір базових понять, визначення способів перевірки та формування базових знань

Таблиця 7.2 - Вибір базових понять, визначення способів перевірки та формування базових знань

Перелік базових понять, законів, способів дії	Назва дисциплін і тем, в яких формуються базові знання і дії	Способи (методи, форми, засоби) перевірки рівня сформованості базових знань і способів дій	Способи актуалізації або поповнення базових знань і способів дій
1	2	3	4
• Оптичні полімери • Обробка різанням • Технологія обробки різанням оптичних полімерів	«Теорія різання та інструмент»	Усне фронтальне опитування, за допомогою контрольних питань: 1.Що представляють собою оптичні полімери. Де, як і для чого використовуються такі матеріали? Опишіть їх властивості. 2. Охарактеризуйте особливості обробки різанням 3. Як відбувається і чому особливості процесу технології обробки різанням оптичних полімерів?	Якщо базові знання знаходяться на незадовільному рівні, то необхідно нагадати головні аспекти шляхом нагадування та повторення



Рисунок 7.1 - Структурно-логічна схема з теми «Удосконалення процесу різання оптичних полімерів для створення раціонального технологічного виробництва»

7.5. Проектування мотиваційних технологій навчання (характеристика і текст мотивації, використання якої доцільно при викладі навчального матеріалу)

Мотивація займає провідне місце в структурі поведінки особистості і є одним з основних понять, які використовуються для пояснення рушійних сил, діяльності в цілому. Мотив, мотивація - спонукання до активності та діяльності суб'єкта, пов'язане з прагненням задовольнити певні потреби.

Виділяють внутрішню і зовнішню мотивацію. Якщо діяльність для особистості значуща сама по собі, то говорять про внутрішню мотивації, якщо ж значимі зовнішні атрибути професії (визнання суспільства, престижність тощо) - переважає зовнішня мотивація. В таблиці 6.3 наведено способи реалізації мотивації.

Таблиця 7.3 - Визначення способів реалізації мотивації

Способи реалізації мотивації	Зовнішня мотивація	Внутрішня мотивація
1	2	3
Вступна мотивація Прийом: віднесення до ситуації (внутрішня), віднесення до особистості (зовнішня)	На сьогоднішньому занятті Вам необхідно буде виконати практичне завдання, яке буде оцінюватися і оцінка вплине на загальну оцінку з вивчення дисципліни. Отже, для отримання позитивної оцінки необхідно бути уважним, добре орієнтуватися в теоретичному матеріалі та не відволікатися.	Областями застосування полімерної оптики є як широкий асортимент звичайних оптичних виробів, так і спеціальні фотонно-оптичні вироби у вигляді сцинтиляційних детекторів для реєстрації інтенсивності іонізуючого випромінювання, а також вироби біоінженерного призначення, наприклад, контактні лінзи та офтальмологічні імплантати у вигляді інтраокулярних лінз. Незважаючи на очевидні переваги полімерної оптики, її широке застосування обмежено через технологічні складності виробництва великогабаритних виробів, тобто виробів, лінійні розміри яких перевищують 10 мм, що виключає застосування методу екструзії і штампування. Необхідно впроваджувати нові та удосконаленні підхід до процесу обробки різанням таких матеріалів. Нові технологічні розробки забезпечать можливість високоефективного виробництва полімерної оптики, в тому числі і великогабаритної (наприклад, блоків сцинтиляційних детекторів) один з лінійних розмірів яких може перевищувати 3 метра.

Продовження табл. 7.3

1	2	3
		Сьогодні ми з Вами визначимо та сформулюємо у вигляді конкретних технологічних вимог основні управляючі дії на технологічні процеси механічної обробки при виробництві високоякісних полімерних виробів фотонів-оптичного і біоінженерних призначення, що включають в себе вибір основного і допоміжного обладнання, ріжучого і вимірювального інструменту, режимів різання, а також регламентують весь хід виробничих операцій і контроль якості виробленої продукції. Будьте уважні, не відволікайтесь!

7.6. Проектування технології формування орієнтовної основи діяльності на факультативному занятті

Проектування технологій формування орієнтовної основи діяльності (ООД) включає вибір типу навчання, його структурних елементів, а також методів і прийомів їх реалізації.

Вибір методів, форм та засобів формування ООД наведено в таблиці 7.4

Таблиця 7.4 - Способи формування ООД на факультативному занятті

Рівні засвоєння навчального матеріалу теми заняття	Форми	Методи	Засоби
1	2	3	4
I- IV	Фронтальна	Лекція, пояснення з елементами розповіді, ілюстрація, демонстрація	Презентаційні слайди з теми, методичне забезпечення з дисципліни, приклади виробів з оптичних полімерних матеріалів, приклади виробів після обробки різанням, технологічні картки

7.7. Проектування технології формування виконавчих дій на факультативному занятті

Після того, як у студентів сформовані необхідні уявлення про об'єкти, що вивчаються, процеси або явища навколишній дійсності, настає етап формування умінь, навиків або, по-іншому, виконавчих дій.

Головна закономірність процесу засвоєння дійсності в тому, що пізнавальна діяльність і введення в неї знання набувають розумової форми, стають узагальненими не відразу, а пройшовши через ряд етапів. Якщо викладач будує процес навчання з урахуванням їх послідовності, він істотно підвищує можливість досягнення мети всіма студентами.

Вибір методів, форм та засобів формування виконавчих дій наведено в таблиці 7.5.

Таблиця 7.5 - Способи формування виконавчих дій з теми

Рівні засвоєння навчального матеріалу теми заняття	Форми	Методи	Засоби
1	2	3	4
I-IV	Фронтальна (студенти відповідають одночасно на одне питання, після написання роботи студентами, оголошення правильних відповідей, робота над помилками проводиться разом з викладачем всіма студентами одночасно),	Письмова контрольна робота	Письмово надайте відповіді на питання: Назвіть і опишіть причини що ведуть до необхідності удосконалення технологічної системи при обробці різанням полімерних оптичних виробів

7.8. Проектування контрольних дій з теми

Проектування системи контролю є одним з важливих видів діяльності викладача. Контроль дає можливість визначити, наскільки чітко досягнута мета навчання, які недоліки процесу навчання і що слід зробити, щоб застосувати нові технології навчання

Вибір методів, форм та засобів формування контрольних дій наведено в таблиці 7.6.

Таблиця 7.6 - Засоби контролю з теми факультативного заняття

Рівні засвоєння навчального матеріалу теми заняття	Форми	Методи	Засоби
1	2	3	4
I-IV	Групова (розподілення студентів за варіантами, парні та непарні за списком у журналі академічної групи)	Письмова контрольна робота, усне опитування	Питання: Надайте ґрунтовну відповідь усно поясніть свою відповідь: 1 питання: В чому полягає особливість впровадження нових концепцій до удосконалення процесу різання оптичних полімерів 1 варіант: Концепції системи підтримки прийняття рішень для синтезу оптимальних технологічних процесів, структури гнучких виробничих модулів та маршрутною технології виготовлення виробів полімерної оптики 2 варіант: Концепції системи підтримки прийняття рішень для синтезу раціональних технологічних процесів, структури гнучких виробничих модулів та маршрутною технології виготовлення виробів полімерної оптики 2 питання: В чому полягає сутність впровадження автоматизації керування в технологічних системах рішень для синтезу оптимальних технологічних процесів виготовлення оптичних полімерних виробів? 1 Варіант: За допомогою застосування методів штучного інтелекту 2 Варіант: За допомогою використання нейронних мереж Свої відповіді обґрунтуйте та підготуйте тезисні висновки для виступу перед групою

7.9. Розробка сценарію факультативного заняття

Сценарій навчання з теми заняття на тему: «Удосконалення процесу різання оптичних полімерів для створення раціонального технологічного виробництва» наведено в таблиці 7.7.

Таблиця 7.7 - Сценарій навчання з теми заняття

№ п/п	Структурні елементи заняття	Зміст структурних елементів
1	2	3
1	Організаційний момент	Викладач вітає, фіксує відсутніх, перевіряє зовнішню обстановку в аудиторії. Студенти вітають викладача, підтверджують присутність у момент переключки, формують настрій на здійснення навчальної діяльності
2	Повідомлення теми і мети заняття, мотивація мети	Повідомлення теми заняття: «Удосконалення процесу різання оптичних полімерів для створення раціонального технологічного виробництва» Мета: сформувати вміння визначати, характеризувати та аналізувати особливості процесу удосконалення процесу різання оптичних полімерів для створення раціонального технологічного виробництва. Студенти фіксують тему, сприймають цілі, формують уявлення щодо результатів засвоєння матеріалу теми даного заняття. Викладач повідомляє важливість вивчення теми, мотивує студентів. Студенти сприймають і усвідомлюють інформацію
3	Актуалізація базових знань	Проведення усного фронтального опитування, за допомогою контрольних питань: 1.Що представляють собою оптичні полімери. Де, як і для чого використовуються такі матеріали? Опишіть їх властивості. 2. Охарактеризуйте особливість обробки різанням 3. Як відбувається і чому особливість процесу технології обробки різанням оптичних полімерів? Якщо студенти не можуть відповісти на питання, коротко нагадує основні моменти по базовому матеріалу. Студенти слухають питання, відповідають на них. Доповнюють відповіді.
4	Формування ООД	Викладач викладає новий матеріал за планом: Визначення та опис причин, , що ведуть до необхідності удосконалення технологічної системи при обробці різанням полімерних оптичних виробів Впровадження методів синтезу структури технологічного процесу та оптимального керування в напрямку впровадження автоматизованих технологічних систем з метою удосконалення процесу різання оптичних полімерів Особливості впровадження нових концепцій до удосконалення процесу різання оптичних полімерів Сутність впровадження автоматизації керування в технологічних системах рішень для синтезу оптимальних технологічних процесів виготовлення оптичних полімерних виробів

Продовження табл. 7.7

1	2	3
		В ході викладу використано наступні методи та засоби : метод лекції з елементами пояснення, розповідь, ілюстрація, демонстрація. Студент сприймають інформацію, конспектують.
5	Формування ВД	Аналіз сприйняття інформації на занятті. Проведення письмової контрольної роботи, робота над помилками, уточнення незрозумілих моментів.
6	Формування КД	Викладач видає студентам завдання. Студенти виконують завдання. Після виконання завдання відбувається обговорення відповідь, виступи студенті з тезисними висновками щодо питань контрольної роботи
7	Підбиття підсумків	Узагальнення засвоєного шляхом нагадування в узагальненому вигляді основних питань, розглянутих на занятті. Відновлення в пам'яті основних моментів матеріалу заняття

7.10 Висновки до розділу 4

В методичному розділі магістерської кваліфікаційної роботи було розроблено дидактичний проєкт факультативного заняття з теми «Удосконалення процесу різання оптичних полімерів для створення раціонального технологічного виробництва» для студентів спеціальності «Професійна освіта. Машинобудування». Були сформульовані цілі факультативного заняття, обрані літературні джерела з теми, проведено конструювання дидактичних матеріалів, аналіз структури навчального матеріалу факультативного заняття, розроблений план та структурно-логічна схема з теми «Удосконалення процесу різання оптичних полімерів для створення раціонального технологічного виробництва», проаналізовані базові поняття, визначені способи перевірки та формування базових знань, розробили характеристику і текст мотивації, використання якої доцільно при викладі навчального матеріалу, були спроектовані технології формування орієнтовної основи діяльності, виконавчих та контрольних дій на факультативному занятті, розроблений сценарій заняття.

ВИСНОВКИ

1. Проведений аналітичний огляд вітчизняної й закордонної літератури, що дозволив вивчити властивості оптичних матеріалів, технологію їх виробництва й фізичні особливості процесу різання оптичних полімерів.
2. Проведені дослідження механіки різання оптичних полімерів. На підставі отриманих даних представлені приватні залежності впливу глибини різання на головну складову сили різання при різних значеннях подачі й передніх кутах різального інструменту, що дозволяє прогнозувати силові параметри й напруга в зоні обробки для процесів лезової обробки (точіння, фрезерування, свердління) матеріалу. Створена база даних основних параметрів процесу різання й коефіцієнтів прірезцових сил для обробки різанням оптичного полістиролу інструментом зі швидкорізальної сталі. Зроблений висновок про те, що найважливішим параметром, що виявляють вплив на силу різання, є глибина різання.
3. Наведена конструкторсько-технологічна класифікація виробів полімерної оптики, на підставі якої можна дати рекомендації з базування й кріпленню заготовок у пристосуваннях стосовно до того або іншому класу деталей.
4. Розглянуті принципи базування й кріплення заготовок у пристосуваннях, згідно з якими зроблені розрахунки зусилля закріплення й характеристик точності пристосувань. На підставі проведених розрахунків можна зробити висновки, що погрішність обробки виробів полімерів у пристосуваннях не перевищує припустимої погрішності на вироби й для закріплення заготовок оптичних полімерів можна використовувати ті ж технологічні підходи, що й при обробці металів. Виключенням є обробка тонкостінних оптичних деталей типу «Tile» (сцинтиляційних полістирольних пластин зі складно профільними канавками, підготовленими під світловод.).

5. Проведені розрахунки напруг, що виникають при затискахі деталей пристосуванням. Створена твердо тільна модель обробки полістирольних заготовок при різних умовах за допомогою програмного пакета ANSYS з метою аналізу величин і характеру розподілу напруг і деформацій в оброблюваній деталі (довгомірний і короткий циліндр, призма), які виникають у процесі різання. Установлений характер і рівень значень напруг і деформацій при різних параметрах обробки (швидкості різання, геометрії різця, параметрів перетину шару, що зрізується). Показане, що найбільші напруги й деформації виникають при обробці довгомірних циліндричних деталей при чорновій обробці. Виникаючий рівень напруг і деформацій є гранично припустимим, який може виникати в оброблюваній заготовці. Обробка коротких циліндрів і призм супроводжується невисоким рівнем напруг і деформацій, якщо глибина різання не перевищує 3мм при чорновій обробці.

6. Розроблений технологічний процес виготовлення деталі типу «*Tile*» з обліком особливостей матеріалу й вимог до його обробки. Сконструйований дрібно розмірний різальний інструмент для фрезерування полістирольних виробів і пристосування для кріплення заготовки. Призначені раціональні режими різання й розраховані норми часу технологічних операцій.

7. Розроблений дидактичний проект факультативного заняття з теми «Удосконалення процесу різання оптичних полімерів для створення раціонального технологічного виробництва» для студентів спеціальності «Професійна освіта. Машинобудування»

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кобаяши А. Обработка пластмасс резанием / Кобаяши А. – М.: Машиностроение, 1974. – С. 23–25.
2. Гринев Б.В. Пластмассовые сцинтилляторы / Б.В. Гринев, В.Г. Сенчишин. – Х.: Акта, 2003. – 324 с.
3. Сперанская Т.А., Тарутина Л.И. Оптические свойства полимеров. – Л., 1976. – 136 с.
4. Шепурев Э.М. Полимерные оптические материалы. – Л.: ЛДНТП, 1987. – 136 с.
5. Поляков А.А., Крагельский И.В., Гаркунов Д.Н. О водородном износе. – К.: Наукова думка, 1982. – 138 с.
6. Сенчишин В.Г. Современные технологии получения пластмассовых сцинтилляторов // Резание и инструмент в технологических системах: Междунар. науч.-техн. сб. – Харьков. – 2000. – С.205-216.
7. Letter of Intent by the CMS Collaboration for a General Purpose Detector at the HC, Technical Proposal, CERN / LHCC / 92-3, October, 1992. – P.20.
8. Гринев Б.В., Сенчишин В.Г. Пластмассовые сцинтилляторы. – Х.: Акта, 2003. – 324 с.
9. Технология получения крупногабаритных пластмассовых сцинтилляторов для исследования физики высоких энергий / Семиноженко В.П., Сенчишин В.Г., Гринев Б.В., Грабченко А.И., Вerezуб Н.В. // Високі технології в машинобудуванні: Зб. наук. пр. – 2000. – Т.1. – С. 226-230.
10. Study of tile-fiber systems manufactured from Kharkov injection molded and Kuraray SCSN-81 scintillators / Nemashkalo A., Popov V., Rubashkin A., Zatserklianij A., Borisenko., Senchishin V., Skrebtson O., Bolotov V.// Nucl.Instrum. and Meth.F. – 1999. – No.419. – P. 609-611.
11. Гундер О.А., Коба В.С., Эксерман В.М. Изучение радиационной устойчивости пластмассовых сцинтилляторов на основе полистирола //

Монокристаллы, сцинтилляторы и органические люминофоры. – 1972. – Вып.6. – С. 305-310.

12. Рабочие процессы высоких технологий в машиностроении / Под ред. Грабченко А.И. – Харьков, 1999. – С. 195-197.

13. Сенчишин В.Г., Вerezub Н.В., Лавриненко С.Н. Технология производства полимерных оптических изделий. – К.: Техника, 1992 – 79с.

14. Kamogawa A. Plastics. Japan. – 1962. – 176 p.

15. Вerezub Н.В. Научные основы высокоэффективных процессов механической обработки полимерных композитов: – Дисс...д-ра.техн.наук: 05.03.01 – Харьков, 1995. – 300 с.

16. Литвиненко М.В. Зависимость эксплуатационных характеристик полимерных изделий от параметров микрогеометрии // Вестник НТУ “ХПИ”. Сер. Технологии в машиностроении – Харьков. – 2002. – Вып. 9, т.11. – С. 19-24.

17. Лавриненко С.Н. Обеспечение стабильности эксплуатационных характеристик изделий из оптических термопластичных композитов при фрезеровании: Автореф.дис.канд.техн.наук: 05.03.01 – Киев, 1992. – 15 с.

18. Особенности формирования микрогеометрии крупногабаритных оптических полимеров / Вerezub Н.В., Литвиненко М.В., Мазманишвили А.С., Сенчишин В.Г., Кундрак Я. // Весник НТУ “КПИ”: Сер. Машиностроение. – Киев. – 2001. – Вып. 41. – С.38-47.

19. Дрожжин В.И. Физические особенности и закономерности процесса резания слоистых пластмасс: Автореф. Дис. д-ра техн. наук: 05.03.01 – Харьков, 1982. – 32 с.

20. Verezub N.V. The creation of the tools range for manufacturing optical products of the “Tile”type. // The papers of the international conference “MicroCAD-System’93”. – Mishcolts – Hungary, 1993. – P. 67–69.

21. Особенности формирования микрогеометрии крупногабаритных оптических полимеров / Вerezub Н.В., Литвиненко М.В., Мазманишвили А.С.,

Сенчишин В.Г., Кундрак Я. // Весник НТУ “КПИ”: Сер. Машиностроение. – Киев. – 2001. – Вып. 41. – С.38-47.

22. Altintas Y. Manufacturing automation^ metal cutting mechanics? Mashine tool vibrations, and CNC design. – Cambridge University Press/ - 2000

23. Armarego, E.J.A. and R.H. Brown, The Machining of Metals. 1969, New Jersey: Prentice-Hall Inc.

24. Ernst, H., Physics of Metal Cutting. Machining of Metals, 1938.

25. Zorev, N.N., Metal Cutting Mechanics. 1966, Oxford: Pergamon Press.

26. Smith A.J.R, Fedorov A., Verezub N.V. Mechanics of orthogonal cutting of optical polymeric materials. - Melbourne, Australia. – 2004.

27. Armarego, E.J.A. and M. Uthaichaya, A Mechanics of Cutting Approach for Force Prediction in Turning Operations. J. Engg. Prod, 1977. 1: p. 1-18.

28. Барбашов Ф.А. Учебное пособие для средних профессионально-технических училищ/ Издательство «Высшая школа» 1975 г.

29. В. П. Фираго. Основы проектирования технологических процессов и приспособлений. Методы обработки поверхностей. /Москва «Машиностроение» 1973 – стр. 468.

30. Корчак С.Н., Гузеев В.И., Буторин Г.И., Выбойщик В.Н.. Теоретические основы базирования Деталей и расчета размерных цепей при механической обработке. – Челябинск – Издательство ЮУрГУ – 2006.

31. Маталин А.А., Технология машиностроения, - Л., Машиностроение, 1985.

32. Косилова А.Г., Мещеряков Р.К. – Справочник технолога-машиностроителя. Том 2 (1986).

33. М. А. Ансеров Приспособления для металлорежущих станков. Расчеты и конструкции. Машгиз, Москва – Ленинград. 1960г. - 638с.

34. Кован В.М., Корсаков В.С., Косилова А.Г. и др. Основы технологии машиностроения. Под ред. В.С.Корсакова. М.: Машиностроение, 1985.- 211-215 с.
35. Тимошенко С.П. Курс теории упругости. /Наукова думка/ 1972. 508 с.
36. Технический паспорт на патрон токарный самоцентрирующий трехкулачковый Ø315 тип 2, исполнение1, ГОСТ 12593-95.
37. Антонюк В. Е., Королев В. А., Башеев С. М. Справочник конструктора по расчету и проектированию станочных приспособлений. Минск, «Беларусь», 1969. 392 с.
38. Д. Назаров. Обзор современных программ конечно-элементного анализа. // САПР и графика, февраль 2000.С. 52-55.
39. Чигарев А.В., Кравчук А.С., Смалюк А.С. ANSYS для инженеров. Справ. пособие. М.: Машиностроение, 2004. 496 с.
40. Каплун А.Б., Морозов Е.М., Олферьева М.А. ANSYS в руках инженера. М.: УРСС, 2004. 272 с
41. Зенкевич О., Чанг И. Метод конечных элементов в теории сооружений и в механике сплошных сред. Нью-Йорк, 1967, 240с.
42. Базров Б.М. Основы технологии машиностроения. Изд.: Машиностроение, 2005. 737 с.
43. Балабанов А Н. Краткий справочник технолога машиностроителя — М Издательство стандартов, 1992 — 464 с.
44. Вerezуб Н.В. Научные основы высокоэффективных процессов механической обработки полимерных композитов: – Дисс. д-ра.техн.наук: 05.03.01 – Харьков, 1995. – 300 с.
45. Девин Л.Н. Прогнозирование работоспособности металлорежущего инструмента. – К.: Наукова думка, 1992. – 130 с.
46. Добровольский Г.Г. Введение в механику алмазного микроточения // Сучасне машинобудування. – 2000. – №3-4. – С.37-54.

47. Новиков Н.В., Добровольский Г.Г., Андросов И.М. Лезвийный инструмент из сверхтвердых материалов для ультрапрецизионной обработки. Перспективы развития // Проблемы материалов в современных технологических процессах: – Тез. докл. – Харьков: ХПИ. – 1991. – С. 41-47.
48. Новиков Н.В. Лезвийный инструмент из сверхтвердых материалов: Справочник. – К.: Техника, 1988. – 118 с.
49. Розенберг А.М., Еремин А.Н. Элементы теории резания металлов. – М. – Свердловск: Машгиз, 1956. – 320 с.
50. Вerezуб Н.В. Научные основы высокоэффективных процессов механической обработки полимерных композитов: – Дисс...д-ра.техн.наук: 05.03.01 – Харьков, 1995. – 300 с.
51. Справочник по технологии резания материалов / Под ред. Шпура Г., Штеферле Т. – М.: Машиностроение, 1985. – С. 635-674.
52. Дмитриенко В. Д., Хавина И. П., Хавин В.Л., Вerezуб Н.В. Моделирование технологических процессов механообработки методами искусственного интеллекта. Монография. - Харьков: НТУ "ХПИ", 2009. - 224с.
53. Корсаков В.С. Основы конструирования приспособлений. Учебник для вузов. —2-е изд., перераб. и доп. —М.: Машиностроение, 1983. — 277 с, ил.
54. Морозов И.М. Гузеев И.И. Фадюшин С.А. Техническое нормирование операции механической обработки деталей Учебное пособие —
55. Армарега Дж., Браун Р.Х. Обработка металлов резанием. – Москва: Машиностроение, 1977. – 280 с.
56. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов. – М.: Машиностроение, 1975. – 344 с.
57. Васин С.А., Верещака А.С., Кушнер В.С. Резание материалов: Термомеханический подход к системе взаимосвязей при резании: Учеб. Для техн. Вузов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001 – 448 с.
58. Вульф А.М. Резание металлов. – Л., „Машиностроение”. – 1973.- 496 с.

59. Гундер О.А. Физико-химические основы получения пластмассовых сцинтилляторов: Обзор. – М.: НИИТЭХИМ, 1979. – 59 с.
60. Добровольский Г.Г., Дятлов Ю.А. Точность формы изделий при алмазном микроточении // Сверхтвердые материалыю. – К. – 1990. – №4.– С. 58-62.
61. Егоров М.Е., Дементьев В.И., Дмитриев В.Л. Технология машиностроения. – М.: Высшая школа, 1976. – С. 46-62.
62. Влияние технологических параметров на оптические характеристики пластмассовых сцинтилляторов / Малиновская С.А., Ветренко Л.П. и др. // Монокристаллы, сцинтилляторы и органические люминофоры. – Черкассы. – 1972. – Вып.6. – Ч.1. – С. 116-121.
63. Маталин А.А. Точность механической обработки и проектирование технологических процессов. – Л.: Машиностроение, – 1970, С. 12–16.
64. Нарисава И. Прочность и механизмы разрушения полимеров. – М., 1987. – 400 с.
65. Полимеры и сополимеры стирола оптического назначения. Обзорная информация. – М.: НИИТЭХИМ, 1984. – 39 стр.
66. Полимеры и сополимеры стирола оптического назначения. Обзорная информация. – М.: НИИТЭХИМ, 1984. – 39 стр.
67. Шепурев Э.М. Полимерные оптические материалы. – Л.: ЛДНТП, 1987. – 136 с.
68. Merchant, M.E., Mechanics of the Metal Cutting Process-I: Orthogonal Cutting and the Type 2 Chip. Journal of Applied Physics, 1945. 16: p. 267.
69. Rubenstein C., Storie R.M. The Cutting of polymers // Toll Des. – Res.9. – 1969. – S. 117–130.
70. Головенкін В. П. Інженерна педагогіка [Електронний ресурс]: підруч. / В. П. Головенкін. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. Режим доступу: http://psy.kpi.ua/wp-content/uploads/2017/02/Injenerna_pedagogika.pdf

71. Коваленко О. Е., Брюханова Н. О., Корольова Н.В. Методика професійного навчання: дидактичне проектування: Підручник для студентів інженерно-педагогічних спеціальностей. – Харків: УПА, 2019. – 204 с.
72. Коваленко О. Е., Брюханова Н. О., Корольова Н.В. Методика професійного навчання: основні технології навчання: Підручник для студентів інженерно-педагогічних спеціальностей. – Харків: УПА, 2019. – 174 с.
73. Лебедик Л.В., Стрельніков В.Ю., Стрельніков М.В. Сучасні технології навчання і методики викладання дисциплін: Навчально-методичний посібник для слухачів курсів підвищення кваліфікації педагогічних працівників закладів середньої, професійної (професійно-технічної), фахової передвищої та вищої освіти / Л. В. Лебедик, В. Ю. Стрельніков, М. В. Стрельніков. – Полтава: АСМІ, 2020. – 303 с.
74. Методика професійної освіти: навч. посібник для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 015 «Професійна освіта» галузі знань 01 «Освіта / Педагогіка» / Д. О. Чернишев, К. І. Почка, Г. Л. Корчова, Ю. С. Красильник, М. В. Руденко. – Київ : Компринт, 2027. – 224 с.
75. Методичні вказівки до виконання магістерської кваліфікаційної роботи для здобувачів освіти другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання за спеціальністю 015 Професійна освіта (за спеціалізацією) / Укр. інж.-пед. акад.; упоряд.: О. Е. Коваленко, Н. О. Брюханова, Н.В. Божко, Н.В. Корольова – Харків: УПА, 2027. – 82 с.
76. Освітньо-професійна програма «Професійна освіта (Машинобудування)» першого (бакалаврського) рівня. Затверджена вченою радою Української інженерно-педагогічної академії від 28.06.2024 року №13.
77. Освітньо-професійна програма «Професійна освіта (Машинобудування)» другого (магістерського) рівня. Затверджена вченою радою Української інженерно-педагогічної академії від 28.06.2024 року №13.

78. Семенова А.В. Професійна педагогіка: Підручник. / Авт.: О.В. Грабовський, Л.В. Коломієць, О.С. Савельєва, А.В. Семенова, В.Ф. Яні; за заг. ред. А.В. Семенової. – Одеса: Бондаренко М.О., 2020. – 575 с.
79. Сайт дистанційної освіти Університету – Режим доступу: <https://moodle.karazin.ua>
80. EdEra – студія онлайн-освіти [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ed-era.com/>
81. Український освітній онлайн-портал для вчителів «На Урок» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://naurok.com.ua/>
82. «Освіторія Медіа» – онлайн медія про освіта та виховання [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://osvitoria.media/>
83. Освіта.UA [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://osvita.ua>
84. Всеосвіта – освітня платформа для професійного зростання педагогічних працівників та підвищення їх педагогічної майстерності [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://vseosvita.ua/>

ДОДАТОК А

Напруги й деформації в оброблюваних заготовках оптичних полімерів

Моделювання довгомірного циліндра $\varnothing 50 \times 2000$ мм при чорновій обробці

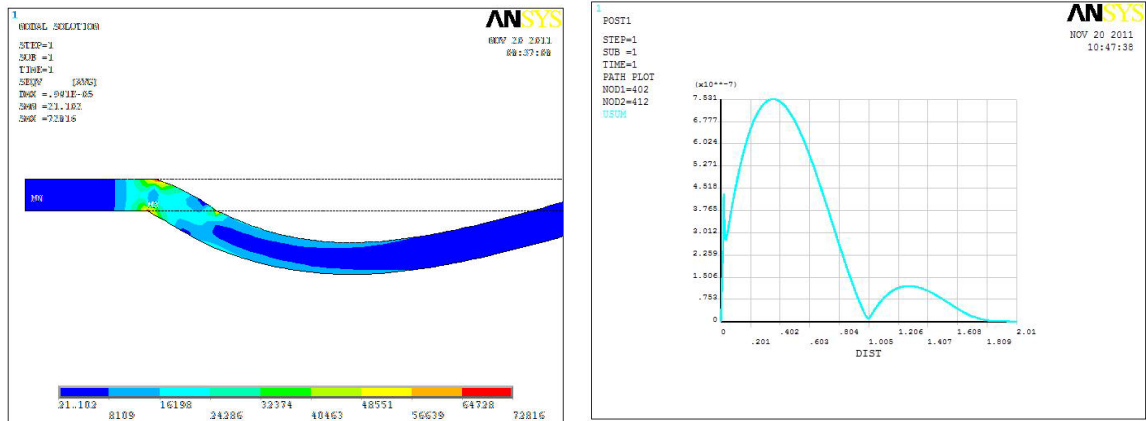


Рис.А 1.1 – Деформація по довжині досліджуваної заготовки з додатком навантаження в перетині 1

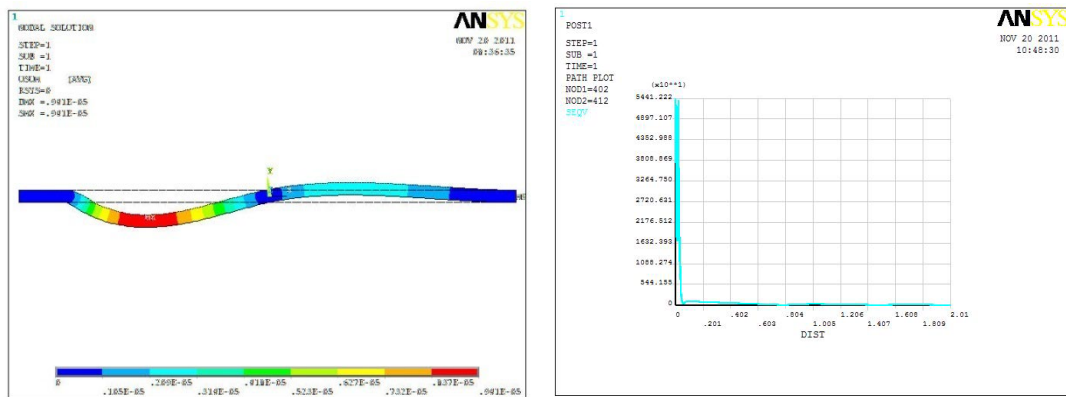


Рис.А 1.2 – Напруга досліджуваної заготовки по довжині з додатком навантаження в перетині 1

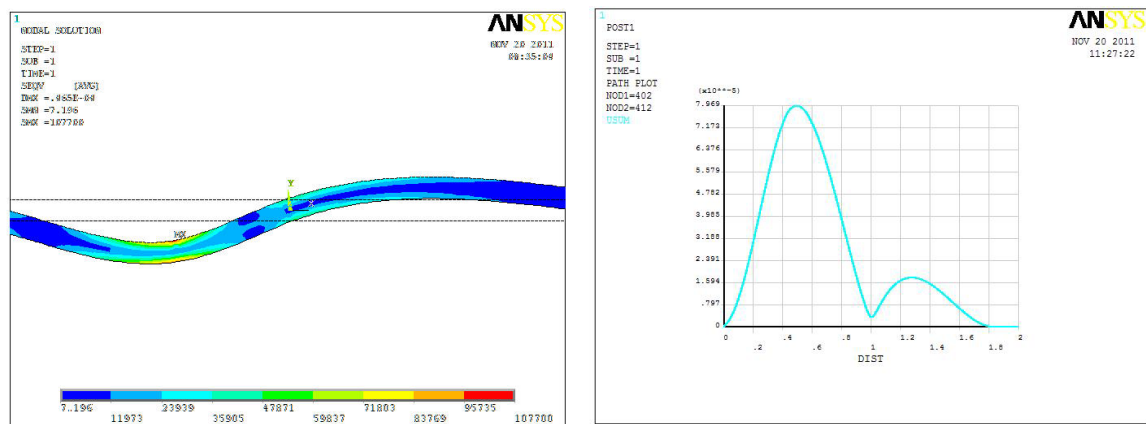


Рис.А 1.3 – Деформація по довжині досліджуваної заготовки з додатком навантаження в перетині 2

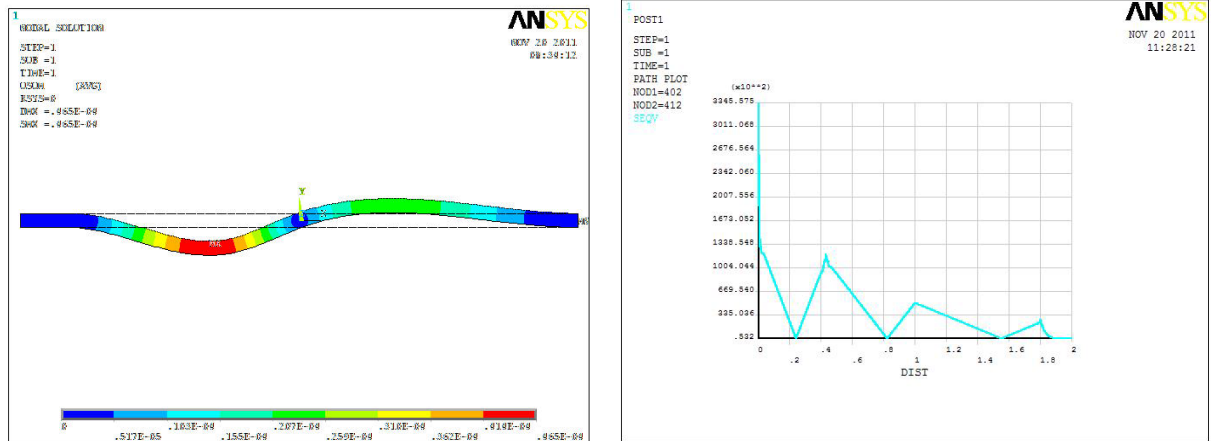


Рис.А 1.4 – Напруга досліджуваної заготовки по довжині з додатком навантаження в перетині 2

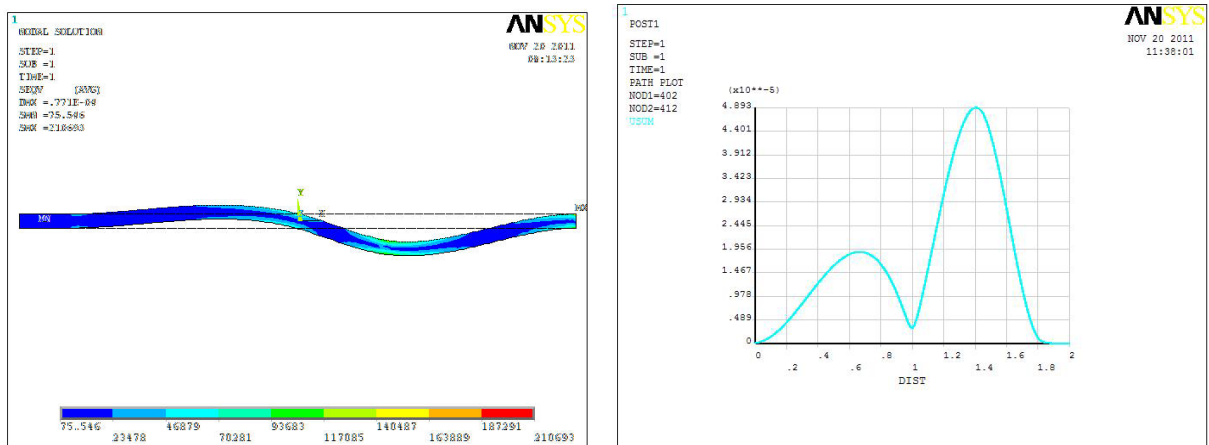


Рис.А 1.5 – Деформація по довжині досліджуваної заготовки з додатком навантаження в перетині 3

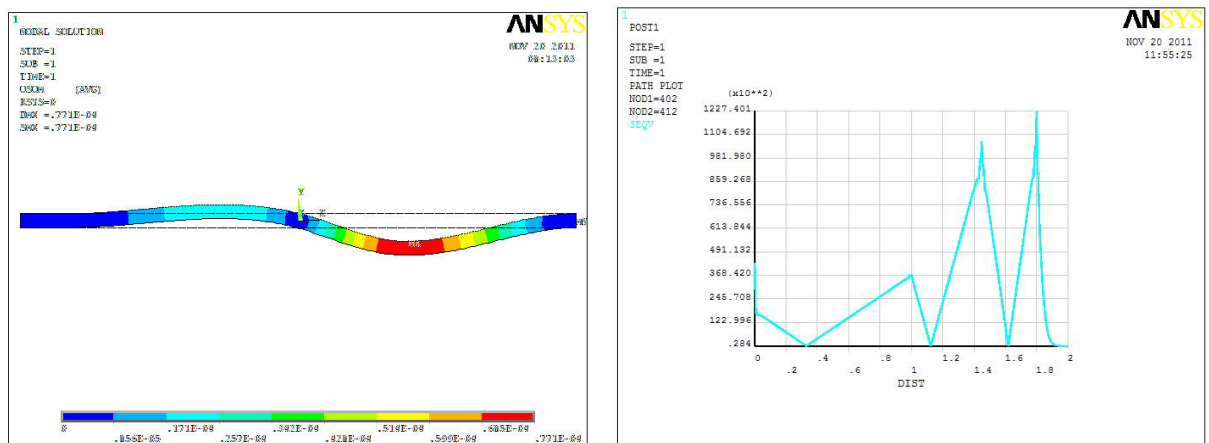


Рис.А 1.6 – Напруга досліджуваної заготовки по довжині з додатком навантаження в перетині 3

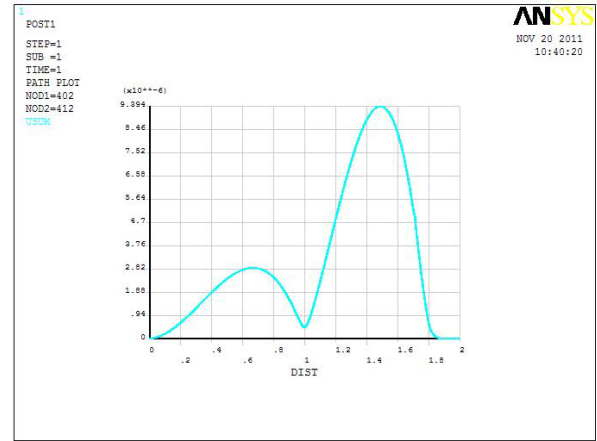
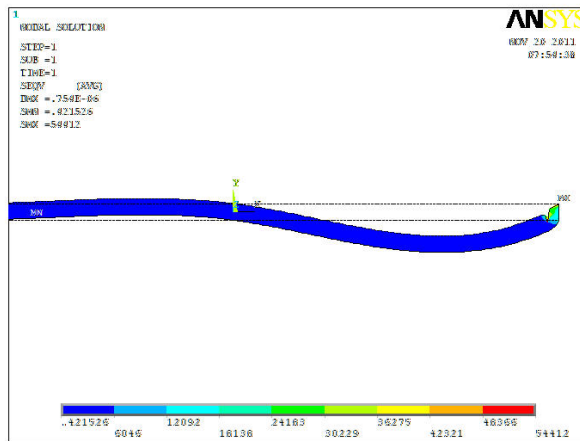


Рис.А 1.7 – Деформація по довжині досліджуваної заготовки з додатком навантаження в перетині 4

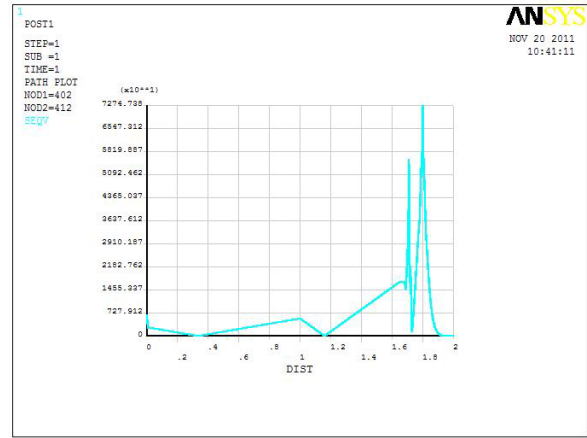
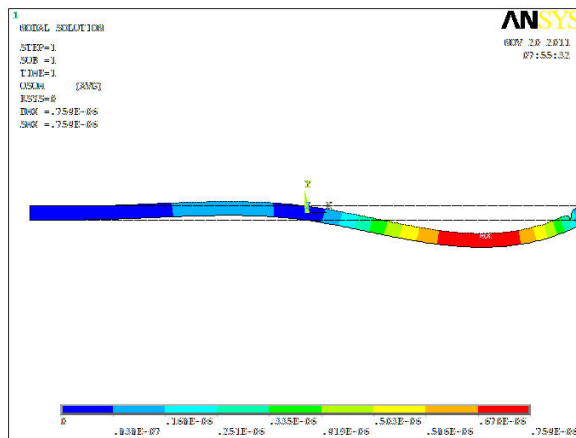


Рис.А 1.8 – Напряга досліджуваної заготовки по довжині з додатком навантаження в перетині 4

Моделювання довгомірного циліндра $\varnothing 50 \times 2000$ мм при чистовій обробці

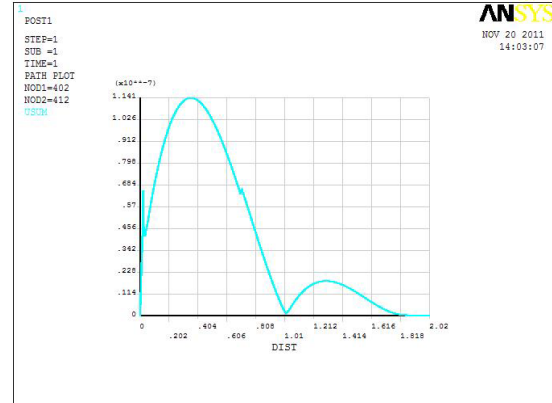
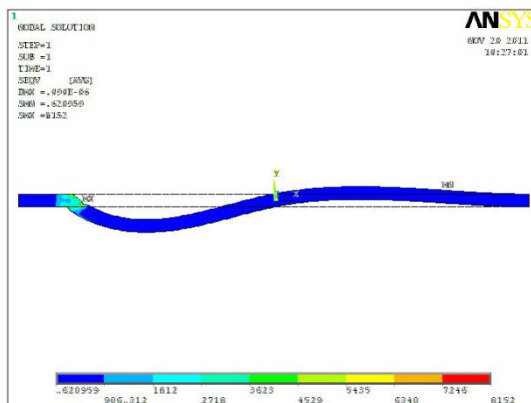


Рис.А 1.9 – Деформація по довжині досліджуваної заготовки з додатком навантаження в перетині 1

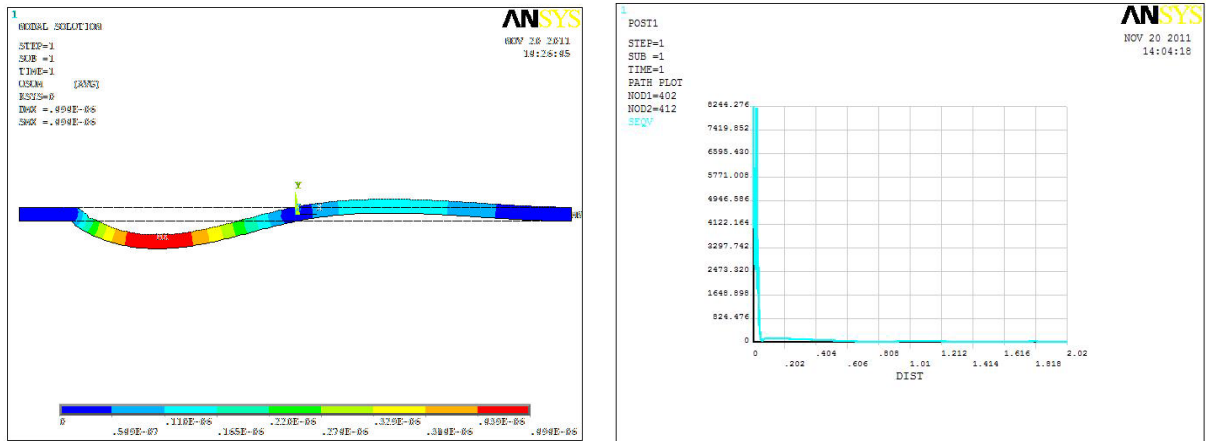


Рис.А 1.10- Напряга досліджуваної заготовки по довжині з додатком навантаження в перетині 1

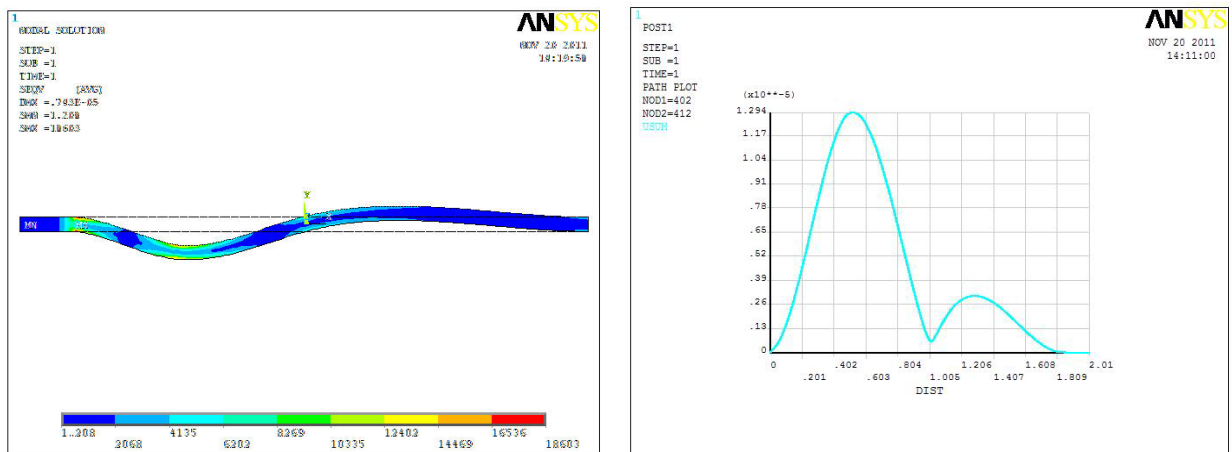


Рис.А 1.11 – Деформація по довжині досліджуваної заготовки з додатком навантаження в перетині 2

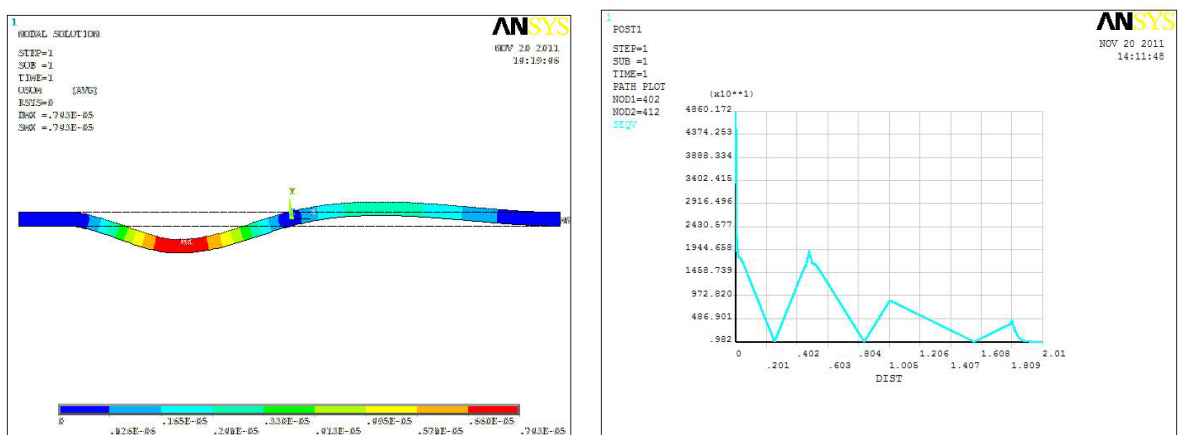


Рис.А 1.12 – Напряга досліджуваної заготовки по довжині з додатком навантаження в перетині 2

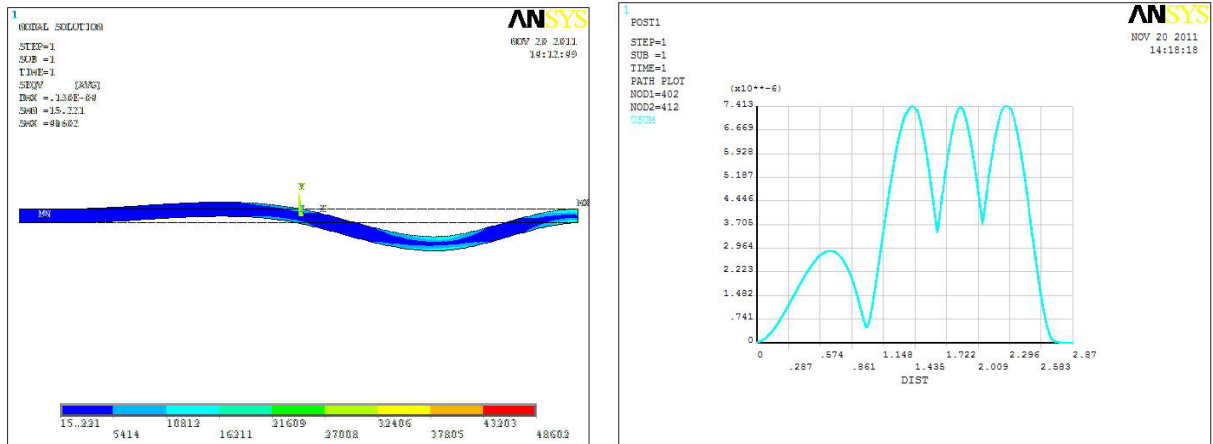


Рис.А 1.13 – Деформація по довжині досліджуваної заготовки з додатком навантаження в перетині 3

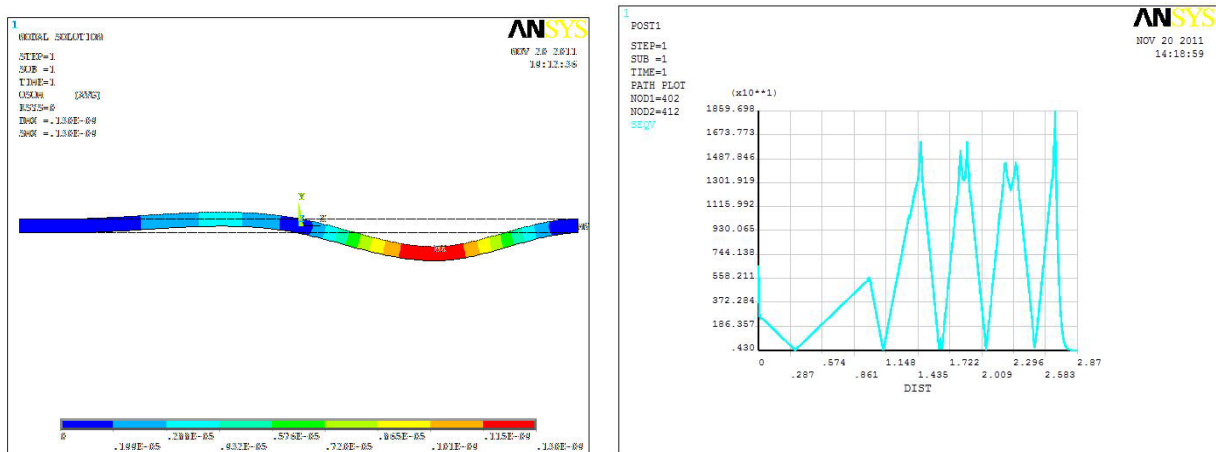


Рис.А 1.14 – Напряга досліджуваної заготовки по довжині з додатком навантаження в перетині 3

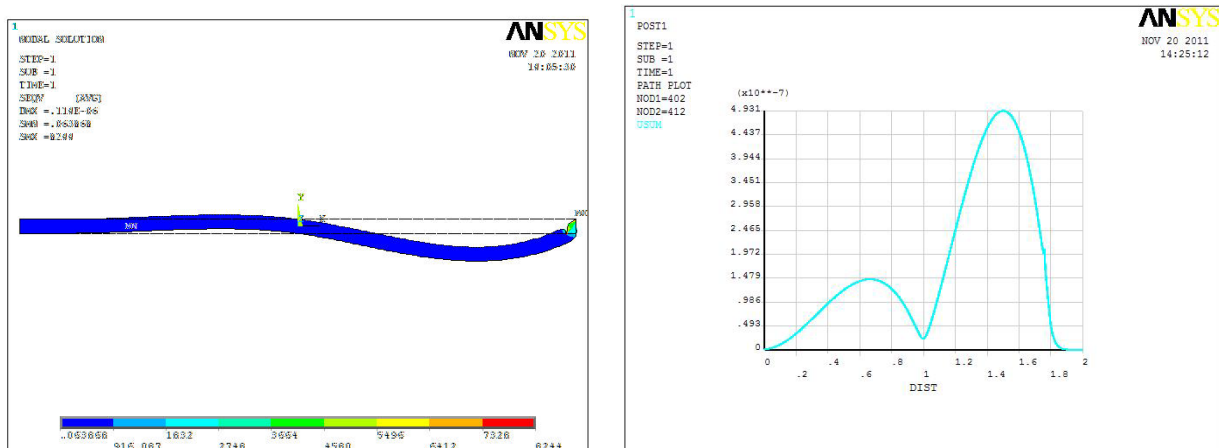


Рис.А 1.15 – Деформація по довжині досліджуваної заготовки з додатком навантаження в перетині 4

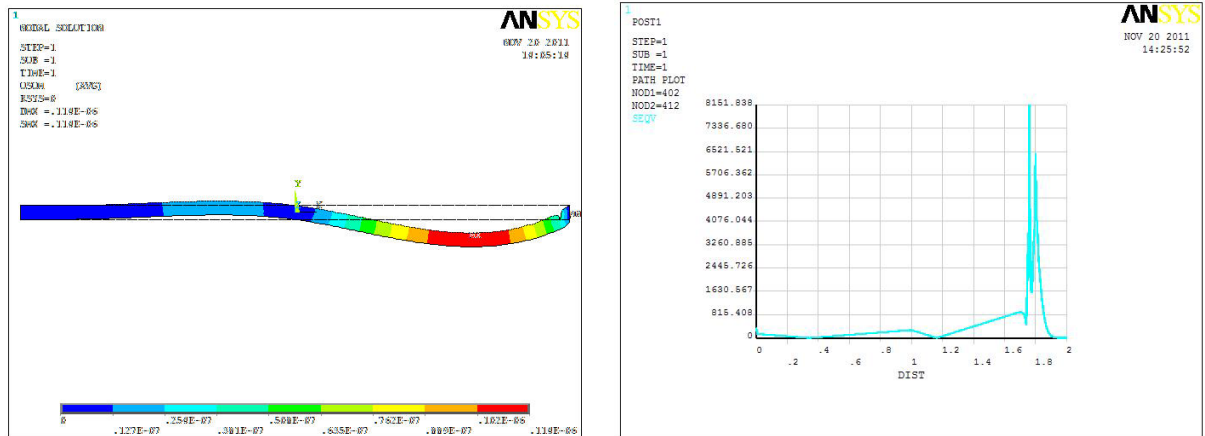


Рис.А 1.16 – Напруга досліджуваної заготовки по довжині з додатком навантаження в перетині 4

Моделювання короткого циліндра $\varnothing 150 \times 150$ мм при чорновій обробці

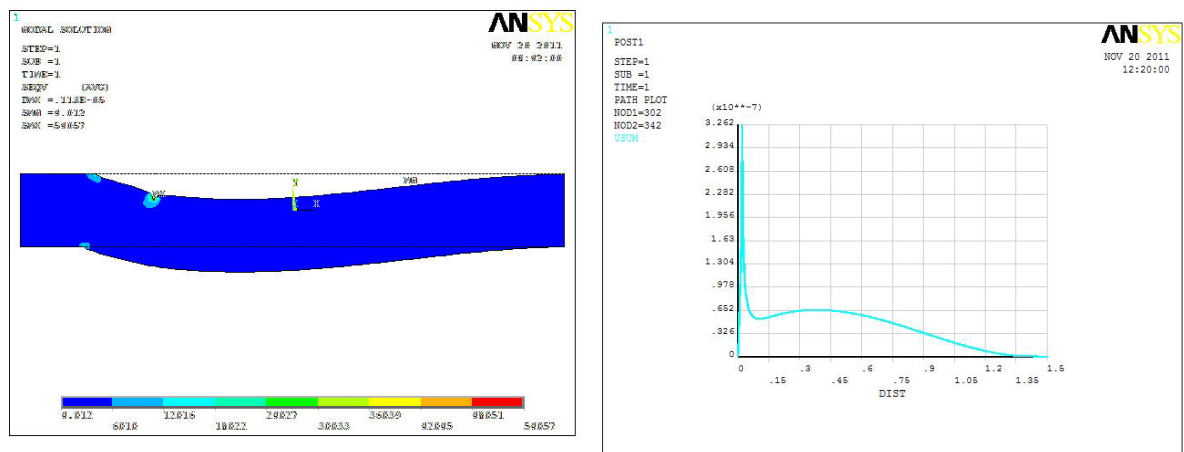
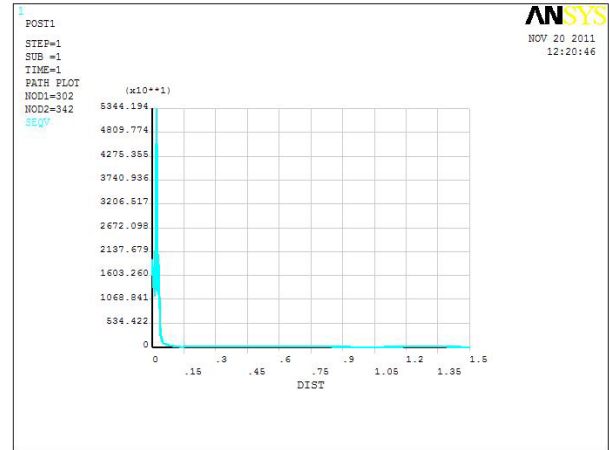
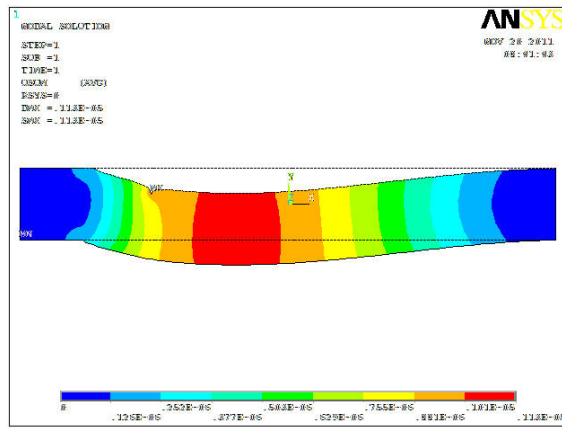


Рис.А 2.1 – Деформація по довжині досліджуваної заготовки з додатком навантаження в перетині 1



Ри

с.А 2.2 – Напряга досліджуваної заготовки по довжині з додатком навантаження в перетині 1

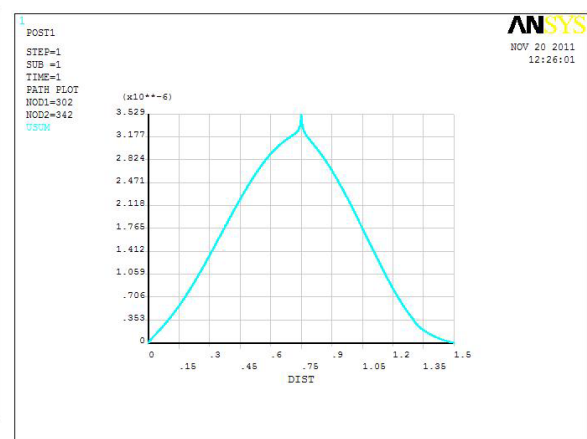
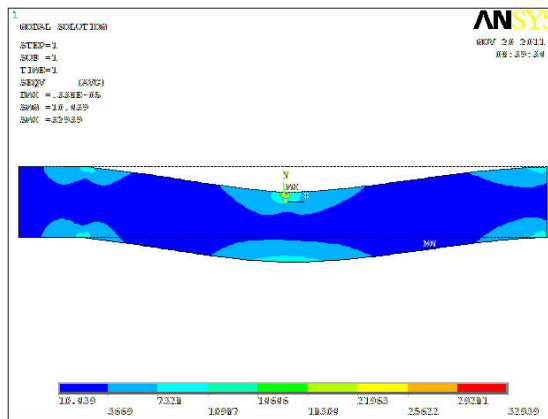


Рис.А 2.3 – Деформація по довжині досліджуваної заготовки з додатком навантаження в перетині 2

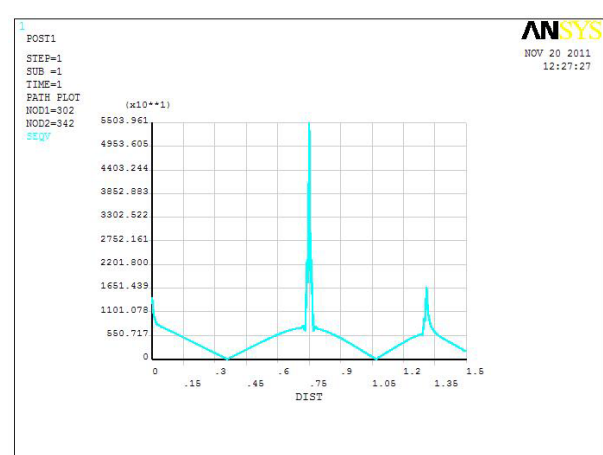
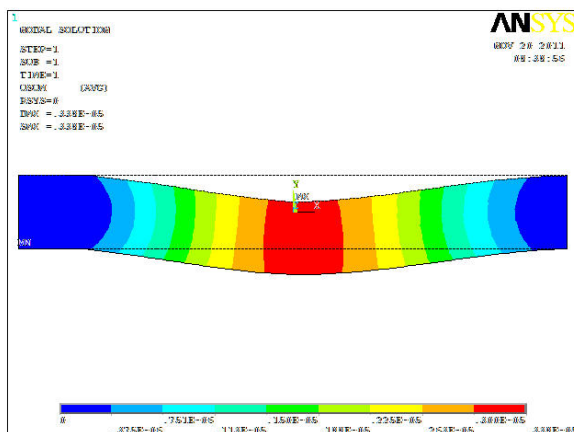


Рис.А 2.4 – Напряга досліджуваної заготовки по довжині з додатком навантаження в перетині 2

Моделювання короткого циліндра Ø150×150 мм при чистовій обробці

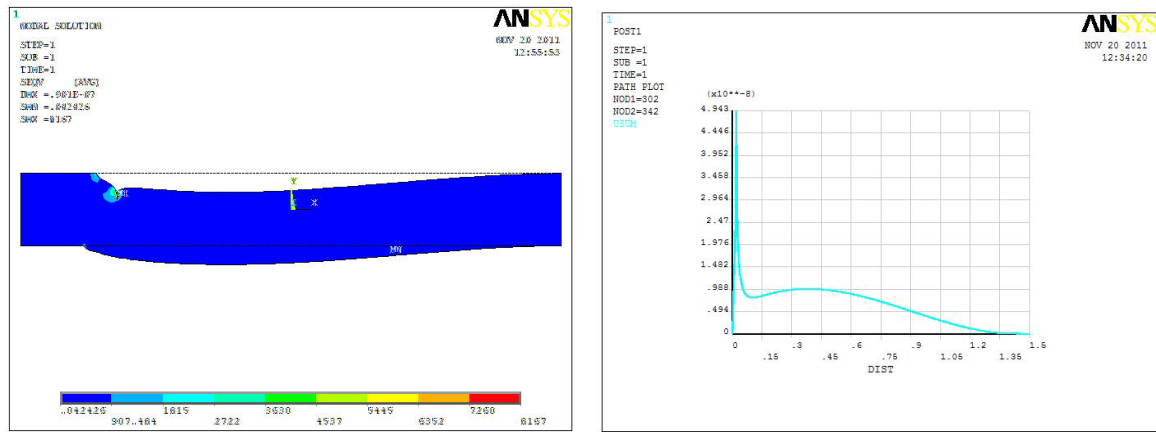


Рис.

А 2.5 – Деформація по довжині досліджуваної заготовки з додатком навантаження в перетині 1

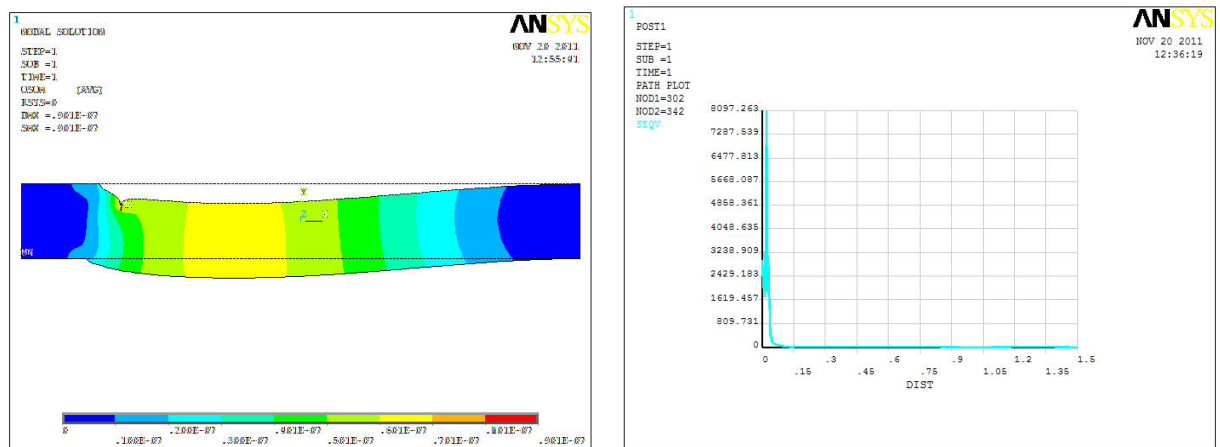


Рис.А 2.6 – Напряга досліджуваної заготовки по довжині з додатком навантаження в перетині 1

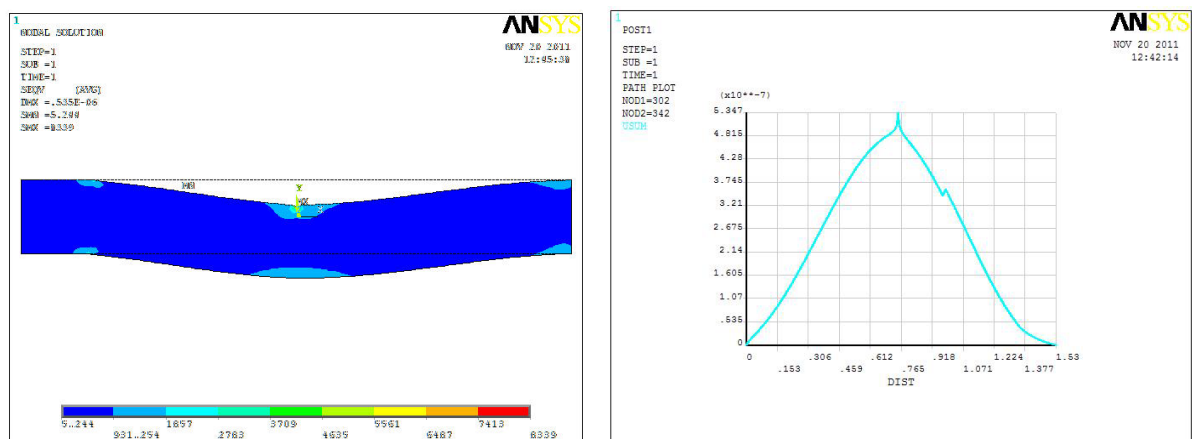


Рис.А 2.7 – Деформація по довжині досліджуваної заготовки з додатком навантаження в перетині 2

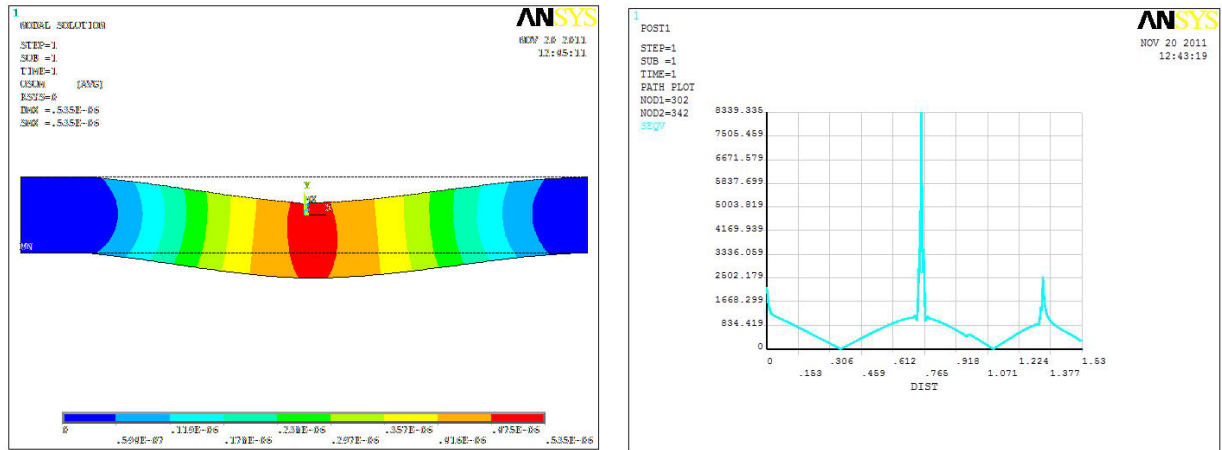


Рис.А 2.8 – Напряга досліджуваної заготовки по довжині з додатком навантаження в перетині 2

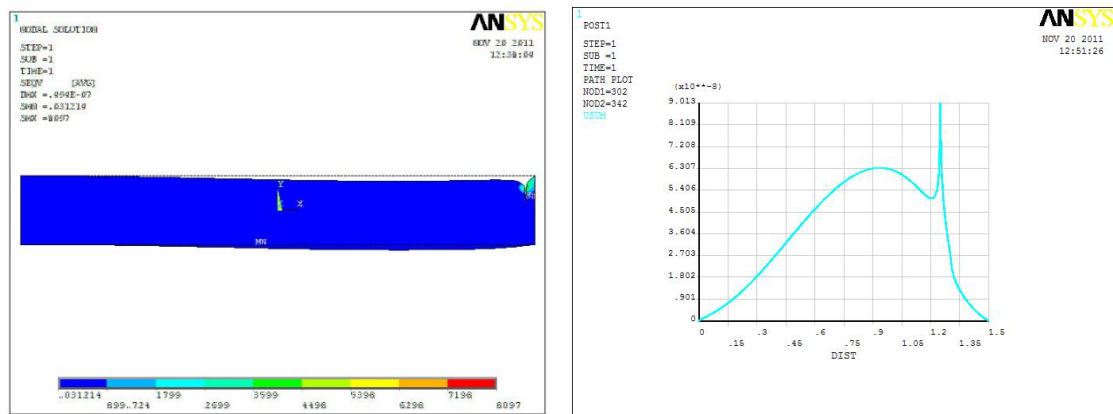


Рис.А 2.9 – Деформація по довжині досліджуваної заготовки з додатком навантаження в перетині 3

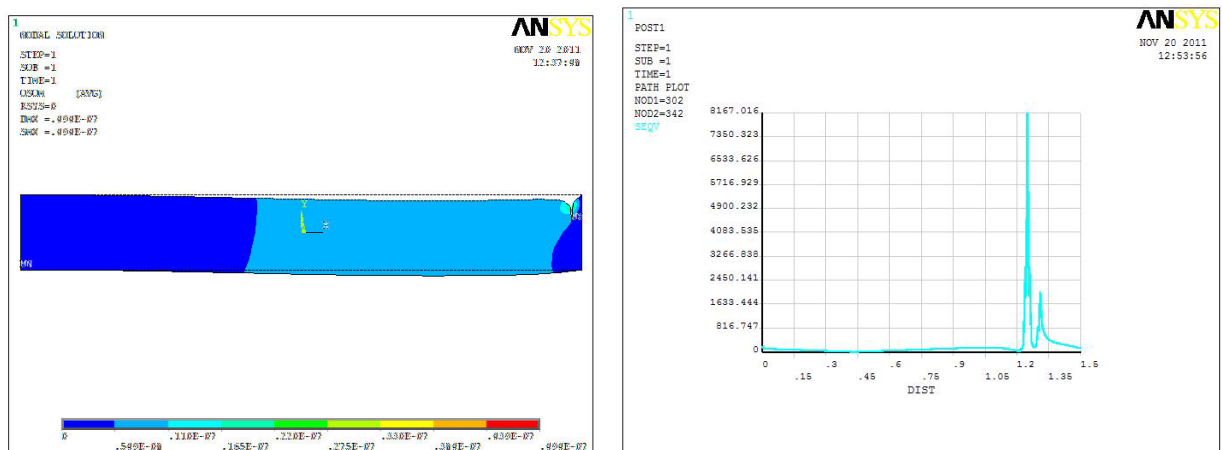


Рис.А 2.10 – Напряга досліджуваної заготовки по довжині з додатком навантаження в перетині 3

Моделювання призми $800 \times 150 \times 150$ мм при чорновій обробці

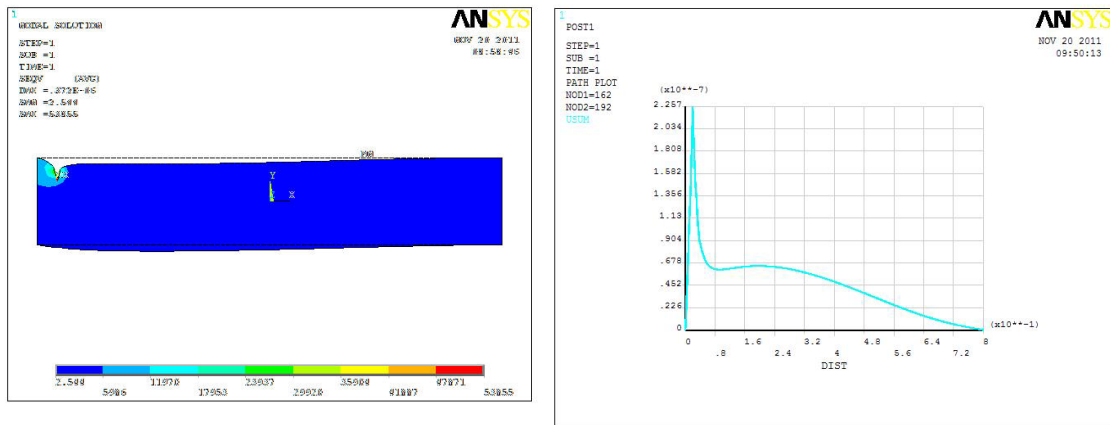


Рис.А 3.1 – Деформація по довжині досліджуваної заготовки з додатком навантаження в перетині 1

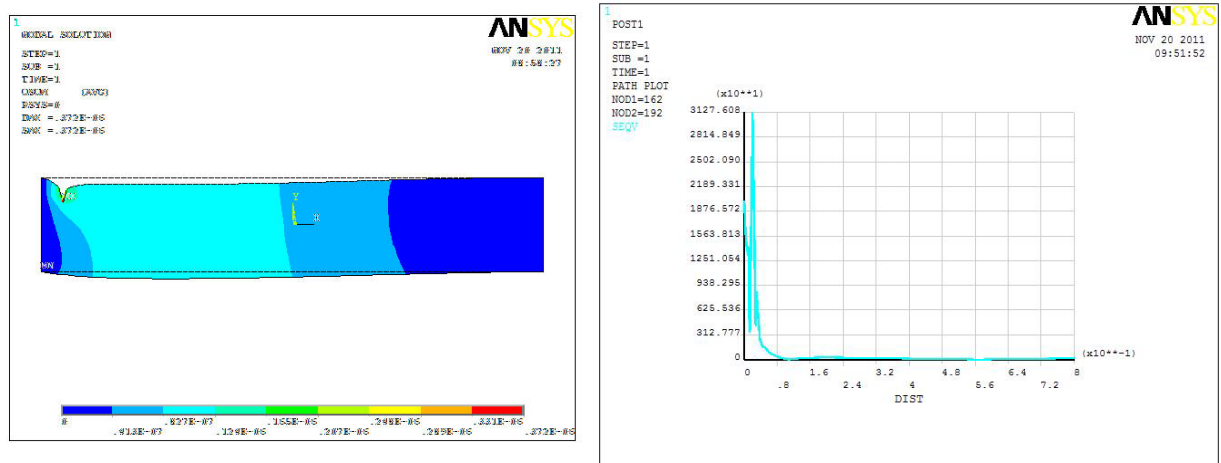


Рис.А 3.2 – Напруга досліджуваної заготовки по довжині з додатком навантаження в перетині 1

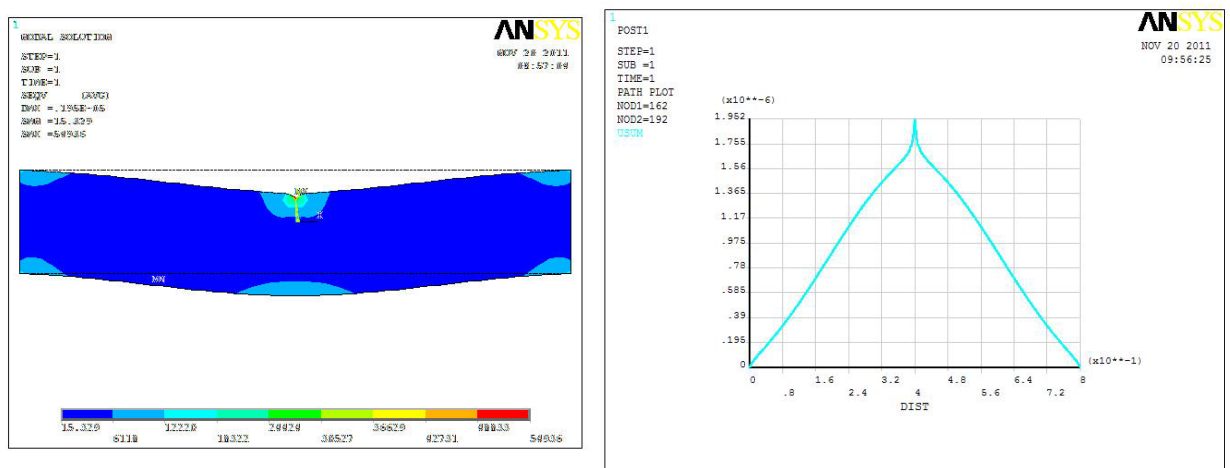


Рис.А 3.3 – Деформація по довжині досліджуваної заготовки з додатком навантаження в перетині 2

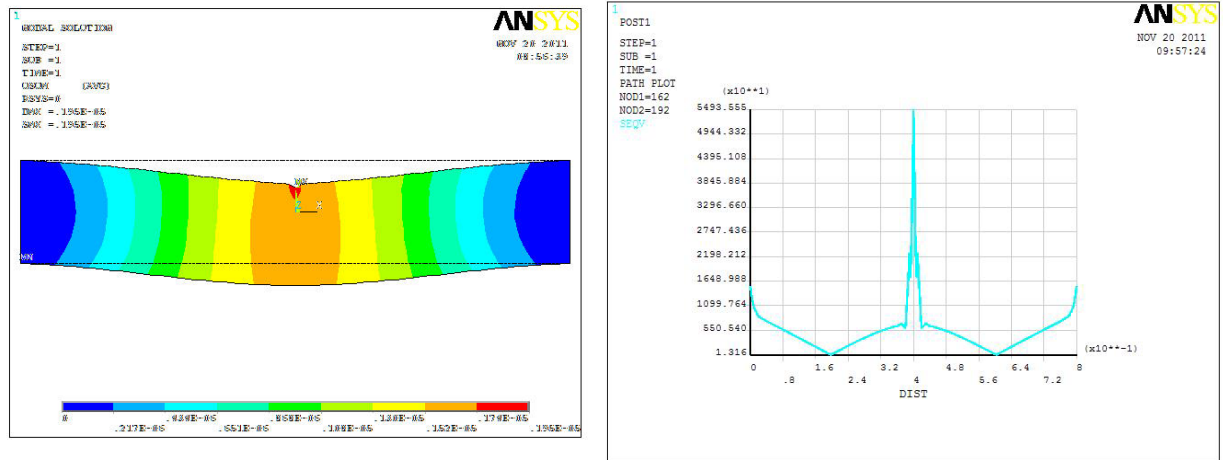


Рис.А 3.4 – Напруга досліджуваної заготовки по довжині з додатком навантаження в перетині 2

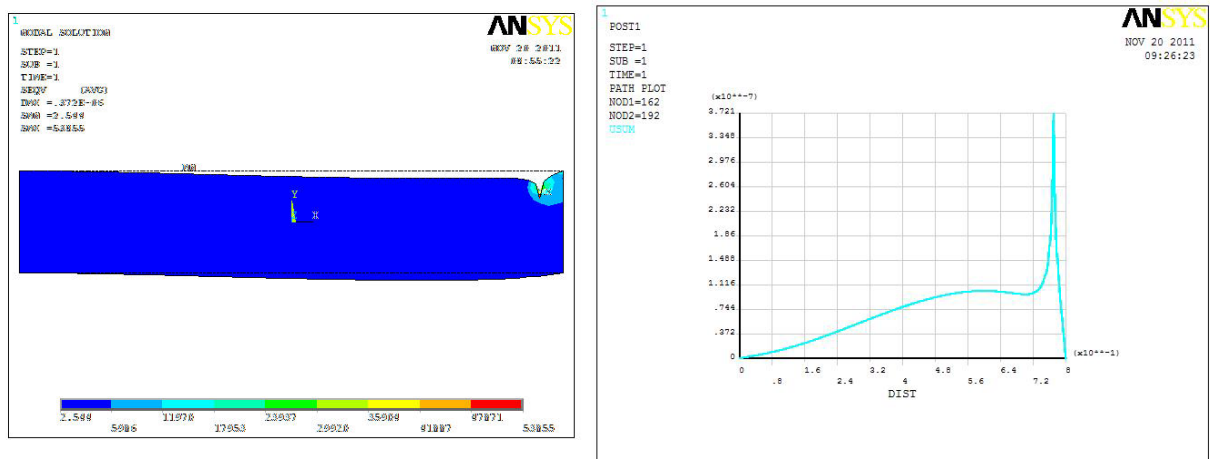


Рис.А 3.5 – Деформація по довжині досліджуваної заготовки з додатком навантаження в перетині 3

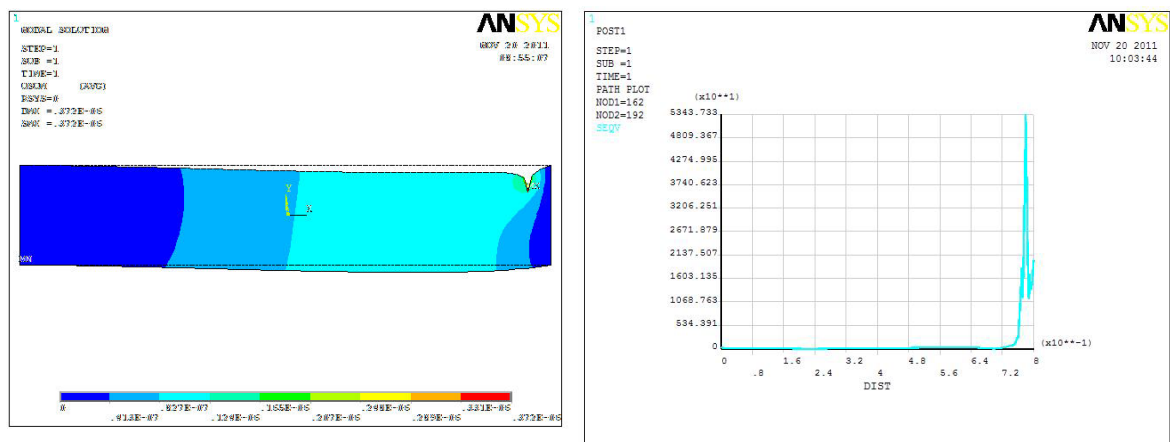


Рис.А 3.6 – Напряга досліджуваної заготовки по довжині з додатком навантаження в перетині 3

Моделювання призми $800 \times 150 \times 150$ мм при чистовій обробці

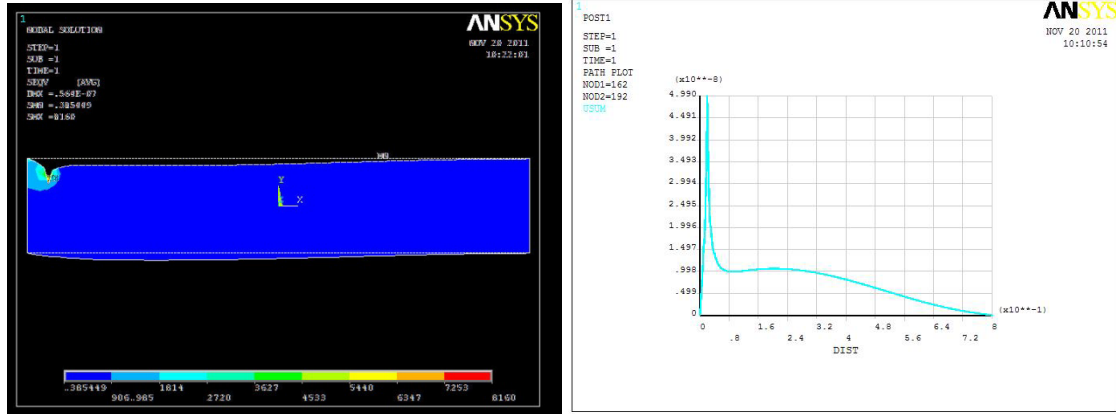


Рис.А 3.7 – Деформація по довжині досліджуваної заготовки з додатком навантаження в перетині 1

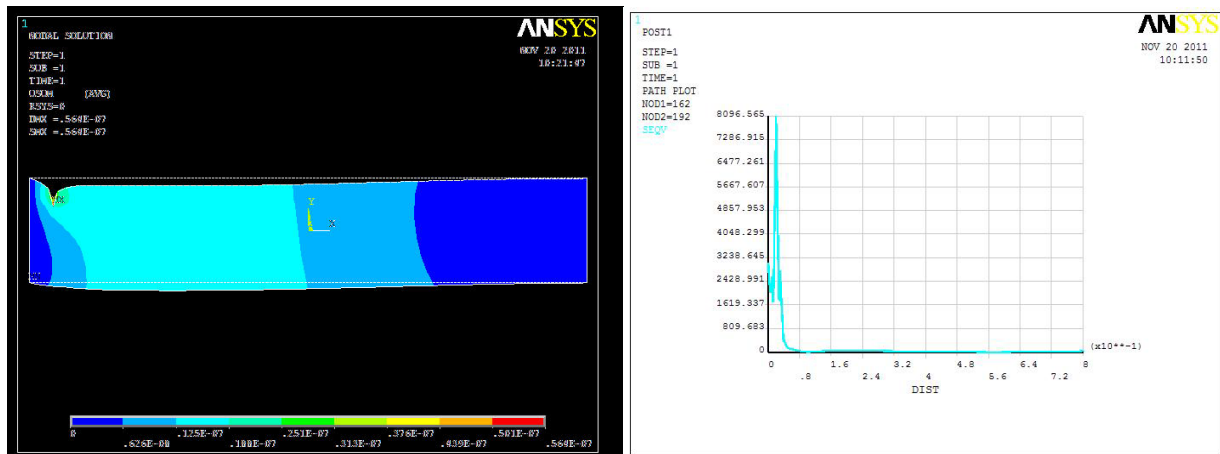


Рис.А 3.8 – Напряга досліджуваної заготовки по довжині з додатком навантаження в перетині 1

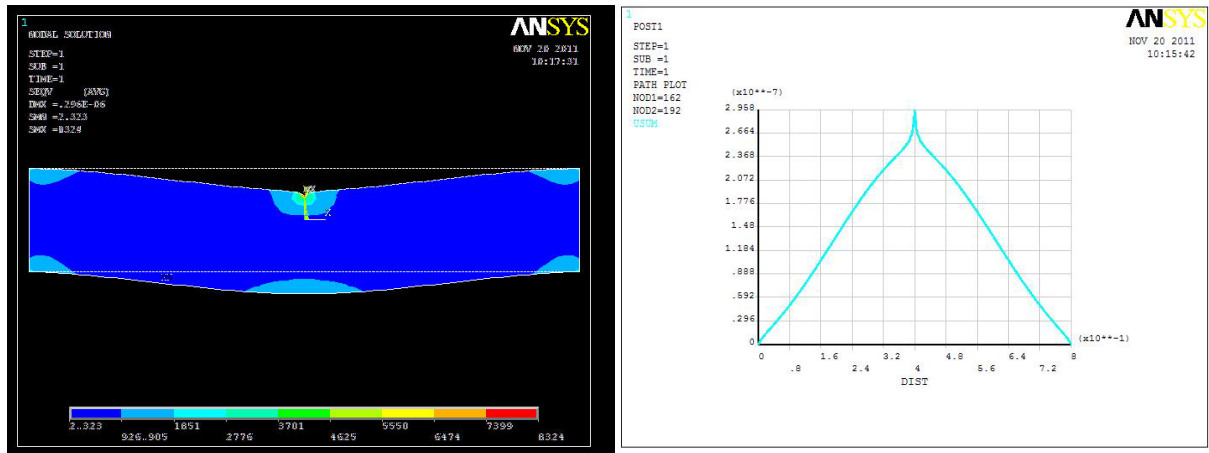


Рис.А 3.9 – Деформація по довжині досліджуваної заготовки з додатком навантаження в перетині 2

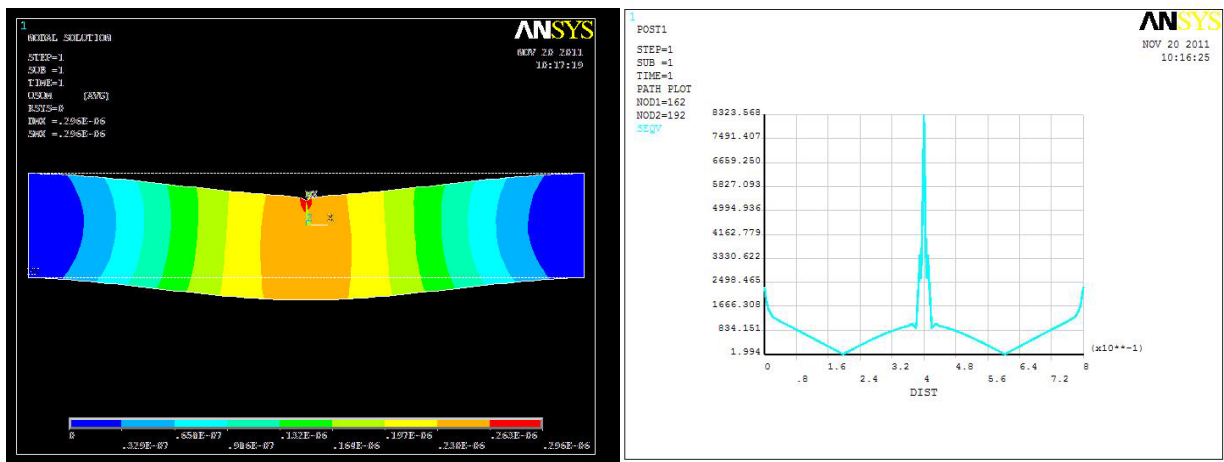


Рис.А 3.10 – Напруга досліджуваної заготовки по довжині з додатком навантаження в перетині 2

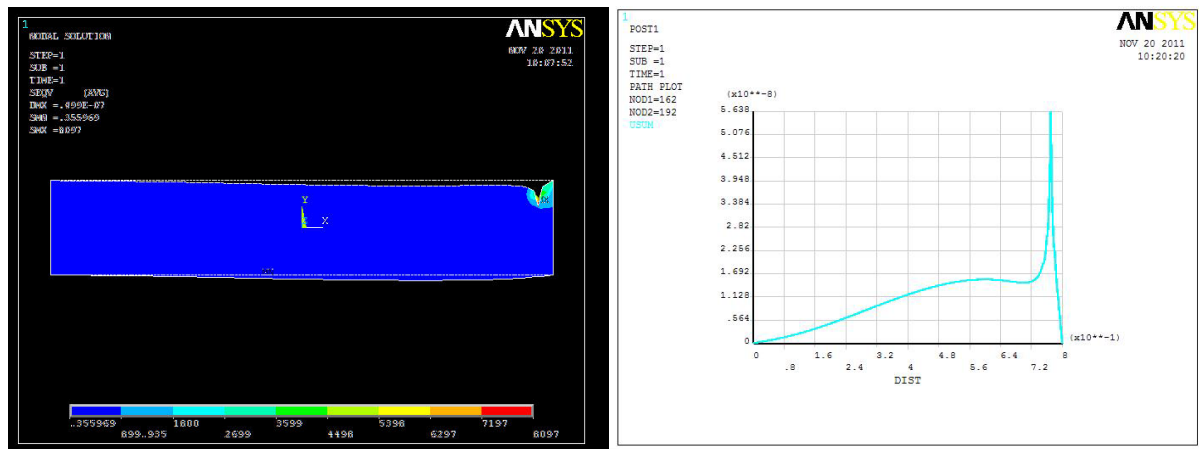


Рис.А 3.11 – Деформація по довжині досліджуваної заготовки з додатком навантаження в перетині 3

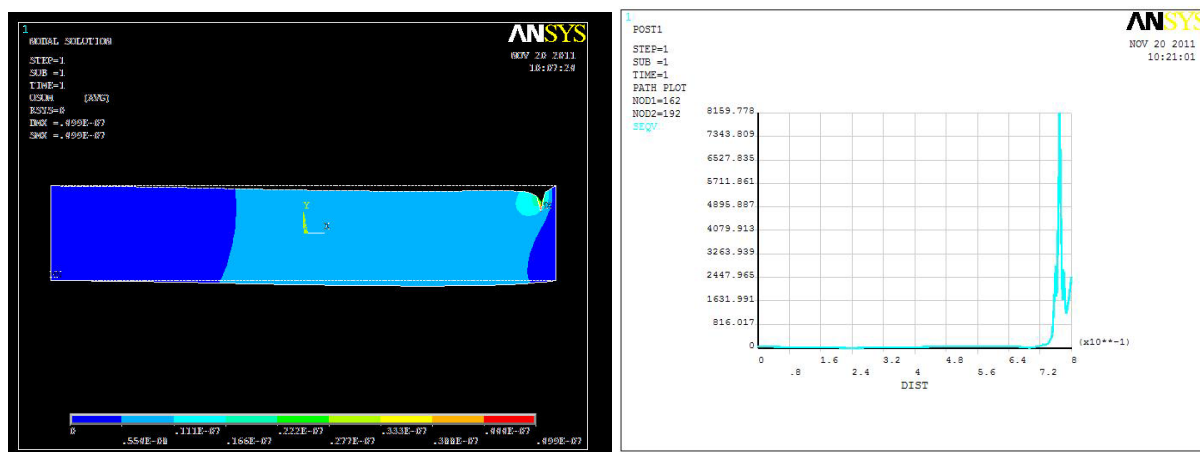


Рис.А 3.12 – Напряга досліджуваної заготовки по довжині з додатком навантаження в перетині 3

ДОДАТОК Б

Комплект документів на технологічний процес виготовлення
деталі типу «Tile»

ГОСТ 3.1404-86 Форма 3

[illegible]

16			
17			
OK			11

ГОСТ 3.1404-86 Форма 3

[illegible]

P06	0,03	800	50
07	ШЦ-I – 315-0,05 ГОСТ 166-89		
08	3. Выборочный контроль 20%		
09			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
OK	19		

ГОСТ 3.1404-86 Форма 3

[illegible]

Фрезерный VBZ-900						4,31	0,62	22	6,702			
Р			ПИ	Д или В	L	t	i	S	n	V		
01	1. Установить, закрепить и снять заготовку.											
02	2. Фрезеровать, выдержав размеры (1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8)											
03	Приспособление – вакуумный стол											
T04	Фреза концевая цилиндрическая Р6М5, α=30°, γ=0°											
05	ШЦ-I-160-0,05 ГОСТ 166-89, МКЦ 0-25 ГОСТ 6507-90, RS-100 4126-82											
P06								0,05	8000	25		
07	2. Выборочный контроль 20%											
08												
09												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
ОК												23

ГОСТ 3.1404-86 Форма 3

[illegible]

[illegible]

ГОСТ 3.1404-86 Форма 3

[illegible]

Н. контр.	Тарасюк А.П.			Tile								
Утв.	Подольак О.С.											
Наименование операции		Материал		Твердость		ЕВ	МД	Профиль и размеры		МЗ	КОИД	
070 Контрольная		Полистирол					8			10		
Оборудование, устройство ЧПУ		Обозначение программы		То	Тв	Тп.з.	Тшт.	СОЖ				
Стол контрольный												
Р	Контрольные параметры	Код средств ТО		Наименование средств ТО				Объем и ПК		То/Тв		
01	1. Отсутствие трещин, пузырьков и оптических дефектов			визуально				100				
02	2. Шероховатость			эталон				100				
03	Размеры:											
04	① ② ⑤ ⑪ ⑫ ⑬	ШЦ-I-315-0,05		Штангенциркуль ГОСТ 166-89				100				
05	③ ④ ⑦ ⑧ ⑨ ⑪	ШЦ-I-160-0,05		Штангенциркуль ГОСТ 166-89				100				
06	⑥	МК 100-4		Микрометр гладкий ГОСТ 6507-78				100				
07	⑩	RS-100		Радиусомер ГОСТ 4126-82				100				
08												
09												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
ОК											29	

ГОСТ 3.1404-86 Форма 3

Дубл.											
Взам.											
Подл.											

Дубл.			
Взам.			
Подл.			

ГОСТ 3.1118-82 Форма 1

Разраб.	Мариниченко С.М.				УПА				МШ-16А.7. 090202				УПА 20146.00001						
Пров.	Тарасюк А.П.																		
Т. контр.	Тарасюк А.П.																		
Н. контр.	Тарасюк А.П.				Tile														
Утв.	Подоляк О.С.																		
M01	Полистирол ГОСТ 20282-86																		
	Код		ЕВ	МД	ЕН	Н.расх.	КВМ	Код загот.		Профиль и размеры		КД					МЗ		
M02				8				блочная полимер.									10		
A	Цех	Уч.	РМ	Опер	Код, наименов. операции			Обозначение документа											
B	Код, наименования оборудования							СМ	Проф.	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	Кшт	Тпз	Тшт	
A03				000	Заготовительная														
B04																			
05				005	Порезка														
06			Пила	STIHL тип MSE 160															
07																			
08			Установить заготовку			сторона № 2													
09				010	Черновое и получистовое торцовое фрезерование			сторона № 2											
10			Фрезерный			UFM 5													
11																			
12			Переустановить заготовку			сторона № 3													
13																			
14				015	Черновое и получистовое торцовое фрезерование			сторона № 3											
15			Фрезерный			UFM 5													
16																			
17			Переустановить заготовку			сторона № 2													
18				020	Чистовое торцовое фрезерование			сторона № 2											
19			Фрезерный			VBZ-900													
20																			
МК																		2	

Подл.																
										ДКИ-ПОМ16МГ				УПА 20146.00001		
А	Цех	Уч.	РМ	Опер	Код, наименов. операции				Обозначение документа							
Б	Код, наименования оборудования				СМ	Проф.	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	Кшт	Тпз	Тштк	
к/м	Наименование детали, сб. единицы или материала				Обозначение, код				опп	ЕВ	ЕН	КИ	Н. расх			
А01	Переустановить заготовку <u>сторона № 2</u>															
Б02																
03	050 Фрезерование канавки															
04	Фрезерный VBZ-900															
05																
06	055 Полировка <u>сторона № 2</u>															
07	Фрезерный VBZ-900															
08																
09	Переустановить заготовку <u>сторона № 3</u>															
10																
11	060 Полировка <u>сторона № 3</u>															
12	Фрезерный VBZ-900															
13																
14	Снять деталь															
15																
16	065 Промывка детали															
17																
18	070 Контрольная															
19	Контрольный стол															
20																
21																
22																
23																
МК															4	

ДОДАТОК В

Графічний матеріал до дипломної роботи

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені В.Н. КАРАЗІНА**

**Навчально-науковий інститут «Українська
інженерно-педагогічна академія»**

(назва факультету/інституту)

Кафедра машинобудування, транспорту і зварювання

(назва кафедри)

кваліфікаційна робота рівня вищої освіти "магістр"

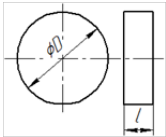
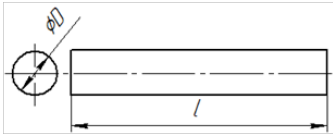
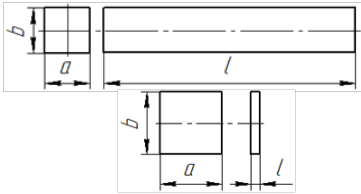
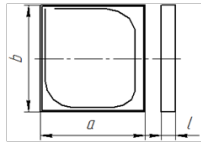
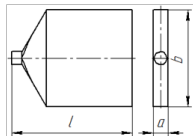
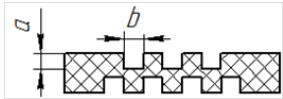
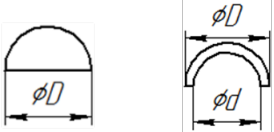
**Професійна підготовка фахівця машинобудівних
підприємств з підвищення точності механічної обробки
оптичних полімерів за рахунок удосконалення
технологічного процесу**

Спеціальність 015.34 Професійна освіта (Машинобудування)

Виконав студент групи ДІТ-ПОМ23мг
Керівник к.т.н., доц.

Максим МИХАЙЛИЧЕНКО
Олег КОНДРАТЮК.

КЛАСИФІКАЦІЯ ДЕТАЛЕЙ ПОЛІМЕРНОЇ ОПТИКИ

Клас	Характеристика	Деталь	Приклад	Розміри (мм)
Диски	Діаметр диска більше його довжини	Диски ($D > l$)		$D \times l$ $\varnothing 10 \times 5$ $\varnothing 30 \times 15$
Круглі стрижні (вали)	Діаметр вала менше його довжини	Циліндри ($D < l$)		$D \times l$ $\varnothing 150 \times 150$ $\varnothing 50 \times 2000$ $\varnothing 78 \times 1000$
Корпусні деталі	Відрізняються більшою різноманітністю форм, розмірів і ваги. Вимагають організації складного виробництва із застосуванням верстатів зі ЧПК	Призми: $(a, b) < l$ $(a, b) > l$		$a \times b \times l$ $150 \times 150 \times 800$ $a \times b \times l$ $20 \times 20 \times 1,5$
		Tile		$a \times b \times l$ $195 \times 195 \times 4$
		Didal		$a \times b \times l$ $28 \times 180 \times 225$
		Виробу з канавками під світловод		$a = 6$ $b = 5$
Сфери й півсфери	Вимагають застосування верстатів зі ЧПК для обробки зовнішньої й внутрішньої сфери	півсфери : цільні півсфери порожні півсфери		$D = \varnothing 1500$ $D = \varnothing 50$ $d = \varnothing 25$

ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ОТРИМАННЯ ВИРОБІВ З ПОЛІМЕРНОЇ ОПТИКИ

Матеріали:

- полістирол (ПС);
- поліметилметакрилат (ПММА);
- стіролакрілонітріл (САН),
- полікарбонат (ПК).

Фізико-механічні властивості ПС:

(За літературними джерелами)

Параметр	Значення
Щільність (ρ), г/см ³	1,05-1,10
Теплоємність (C_v), Дж/г·К	1,2-1,4
Теплопровідність (λ), Вт/г·К	0,08-0,14
Теплостійкість по Мартенсу, °C	70-80
Міцність при розтяганні (σ_p), МПа	30-50
Міцність при розтяганні при $t = 80^\circ \text{C}$, (σ_p), МПа	8-10
Міцність при стиску (σ_c), МПа	80-110
Модуль пружності (E_p), МПа	2800
Ударна в'язкість, кДж/м ²	16-22
Показник переломлення (n_d^{20})	1,59
Пропущення світла, %, (товщина, мм)	85-90 (2)
Фотопружна постійна (C_{Br}) · 10 ⁷ , см ² /кг	5,7
Коефіцієнт лінійного розширення (α) · 10 ⁵ , К ⁻¹	6-9
Питомий електричний опір, Ом	101-1017

Технологія виробництва заготовок:

- метод блокової полімеризації;
- метод полімеризації між стеклом;
- метод лиття під тиском.

Вплив швидкості різання на характер руйнування полімерних оптичних матеріалів:

(За літературними даними)

- мінімальні значення сил різання відповідають малим швидкостям різання;
- в інтервалі $V = 100 \div 500$ м / хв відбувається утворення тріщини в околицях ріжучого клина, яка рухається через сформувалися в матеріалі мікротріщини, що призводить до виникнення великої кількості тріщин, погіршення поверхневого шару і зниження міцності;
- збільшення швидкості понад 1000 м / хв призводить до зниження сили різання і виникають сприятливі умови для зрізаного шару полімеру.

Значення температури в зоні різання в залежності від швидкості і подачі

Швидкість v , м/хв	Подача S , мм/зуб		
	0,01	0,03	0,05
	Температура θ , °C		
50	80	70	50
250	250	240	220
300	245	220	200
1000	85	75	70

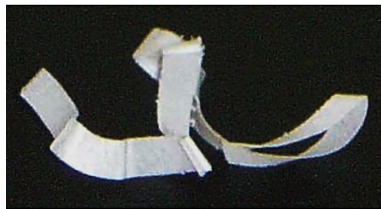
СТРУЖКОУТВОРЕННЯ І СИЛА РІЗАННЯ ПРИ ОБРОБЦІ ОПТИЧНИХ ПОЛІМЕРІВ

Особливості стружкоутворення

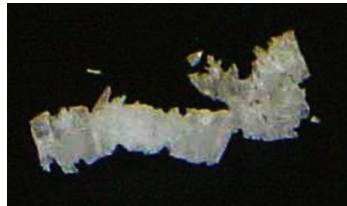


Вплив глибини різання і переднього кута на стружкообразовання при обробці полістиролу різанням ($V = 30$ м/хв)

Види стружки



Безперервна зливна стружка

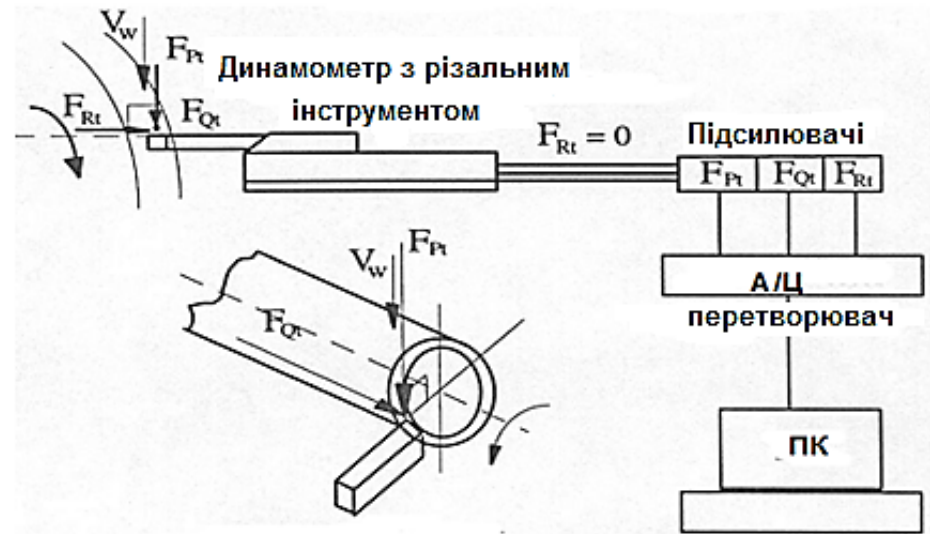


Стружка сколювання



Переривчаста стружка надлому

Експериментальна установка для дослідження складових сили різання

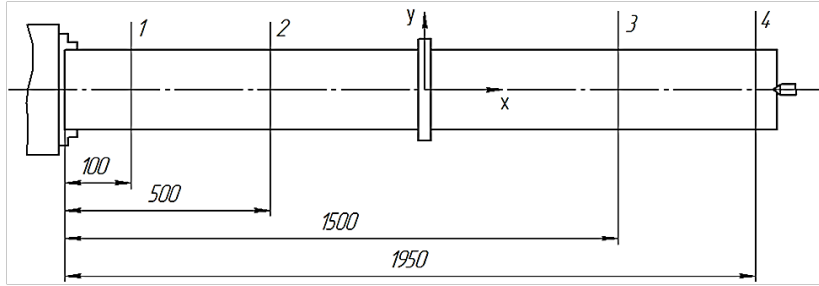


Залежність сили P_z від глибини різання

Значення переднього кута γ_0	Глибина різання t , мм				
	0,25	0,5	1	2	3
	Сила P_z , Н				
0	55,2	83,2	139,2	251,2	363,2
10	58,6	88,1	147,1	265,1	383,1
20	70,4	110,4	190,4	350,4	510,4

РОЗРАХУНОК НАПРУЖЕНЬ ТА ДЕФОРМАЦІЙ В ЗАГОТОВЦІ ОПТИЧНИХ ПОЛІМЕРІВ

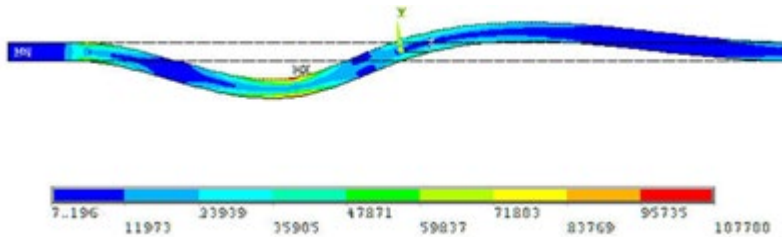
Розрахункова схема довгомірної заготовки оптичного полімеру



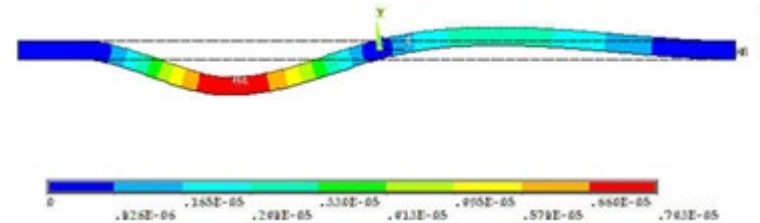
Результати дослідження при чорновій обробці в перерізі 2

Переріз	Режими різання	Деформація, мкм	Напруга, МПа
1	$V = 50 \text{ м/хв}$ $S = 0,03 \text{ мм/об}$ $t = 3 \text{ мм}$	0,763	0,544
2		79,69	3,345
3		48,93	1,227
4		9,394	0,727

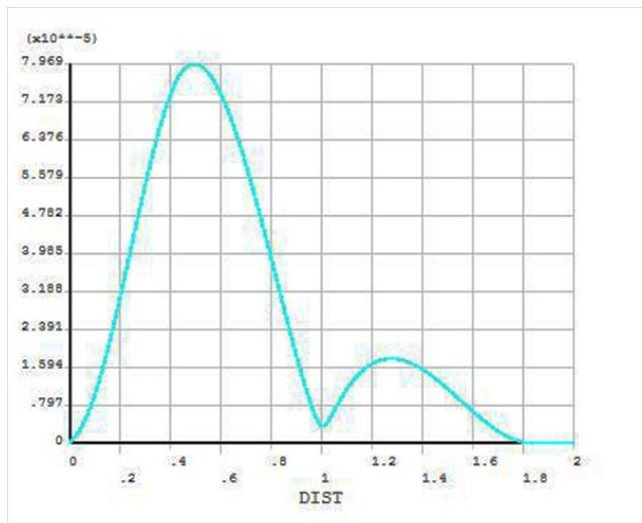
Деформація деталі при чорновій обробці в перерізі 2



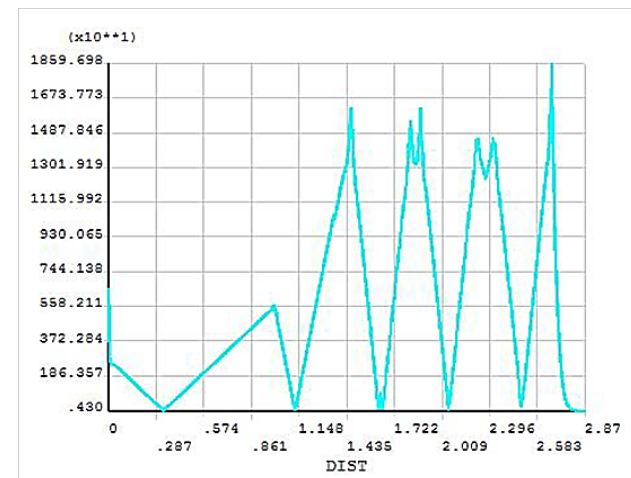
Напруга деталі при чорновій обробці в перерізі 2



Графік залежності деформації по довжині деталі

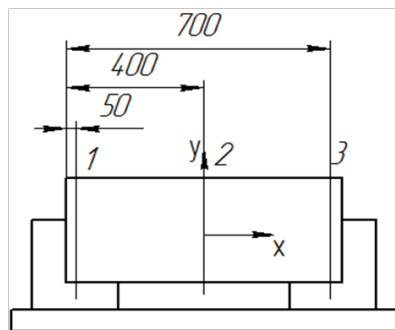


Графік залежності напруги по довжині деталі



РОЗРАХУНОК НАПРУЖЕНЬ ТА ДЕФОРМАЦІЙ В ЗАГОТОВЦІ ОПТИЧНИХ ПОЛІМЕРІВ

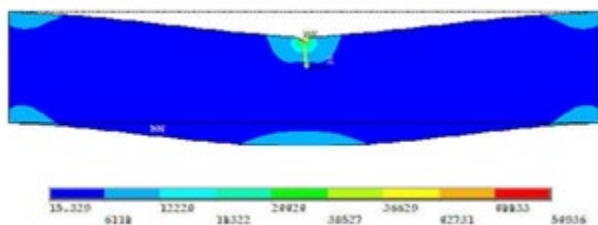
Розрахункова схема призматической заготовки оптичного полімеру



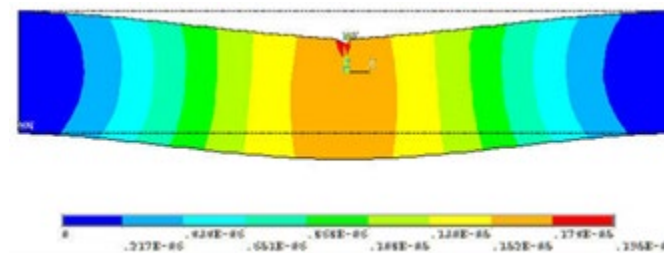
Результати дослідження при чорновій обробці в перерізі 2

Переріз	Режими різання	Деформація, мкм	Напруга, МПа
1	$V = 50 \text{ м/хв};$ $S = 0,03 \text{ мм/зуб}$ $t = 3 \text{ мм}$	0,226	0,313
2		1,952	0,549
3		0,372	0,534

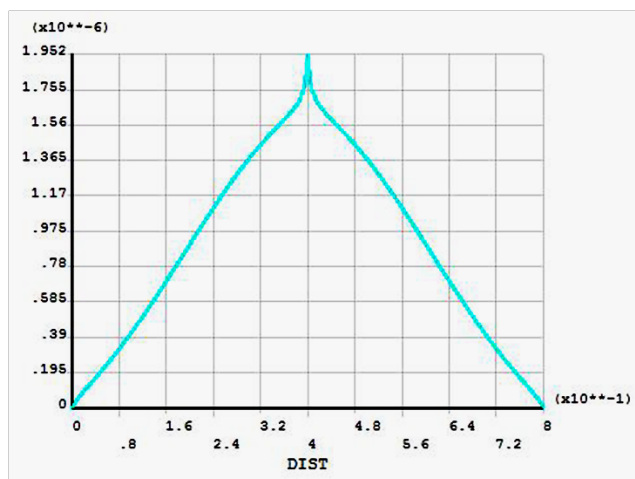
Деформація деталі при чорновій обробці в перерізі 2



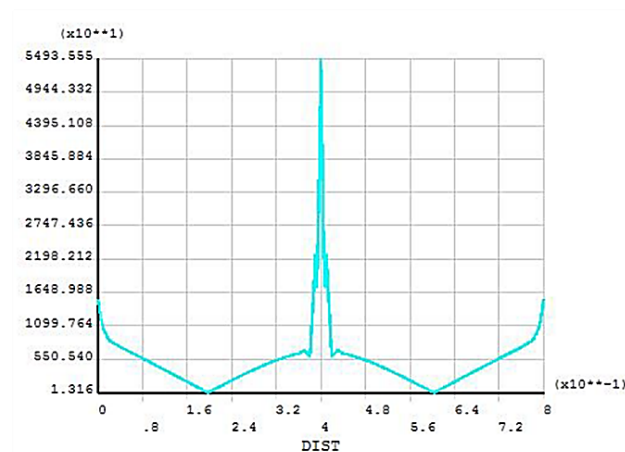
Напруга деталі при чорновій обробці в перерізі 2



Графік залежності деформації по довжині деталі

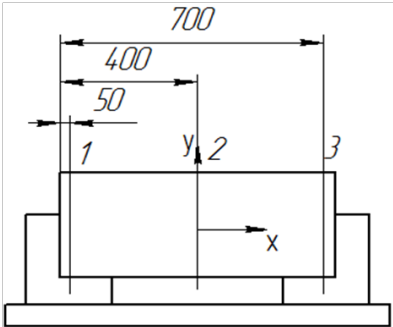


Графік залежності напруги по довжині деталі

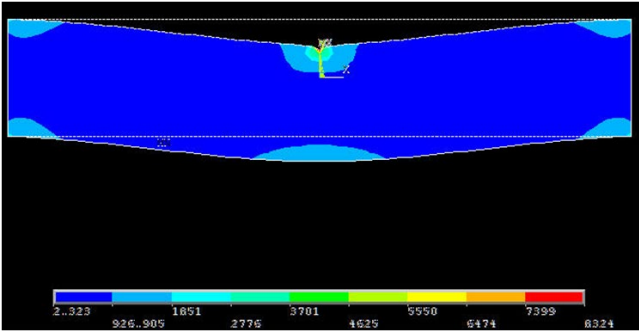


РОЗРАХУНОК НАПРУЖЕНЬ ТА ДЕФОРМАЦІЙ В ЗАГОТОВЦІ ОПТИЧНИХ ПОЛІМЕРІВ

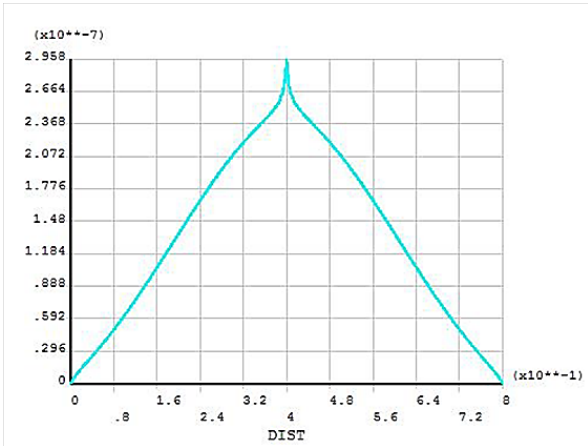
Розрахункова схема призматической заготовки оптичного полімеру



Деформація деталі при чистовій обробці в перерізі 2



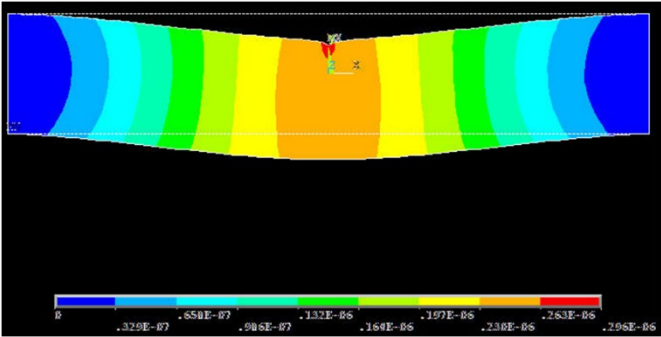
Графік залежності деформації по довжині деталі



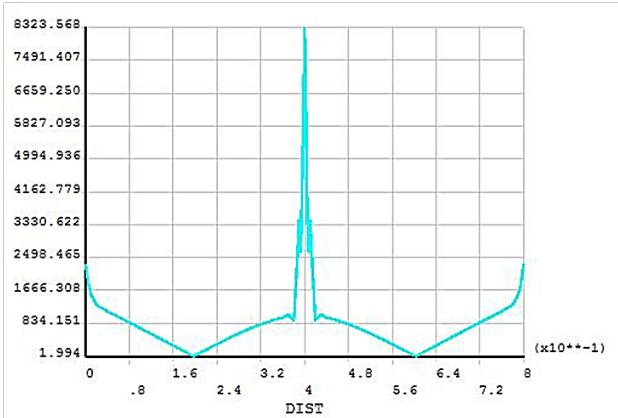
Результати дослідження при чистовій обробці в перерізі 2

Переріз	Режими різання	Деформація, мкм	Напруга, МПа
1	$V = 50 \text{ м/хв};$ $S = 0,03 \text{ мм/зуб}$ $t = 0,25 \text{ мм}$	0,05	0,0809
2		0,296	0,0832
3		0,056	0,0817

Напруга деталі при чистовій обробці в перерізі 2



Графік залежності напруги по довжині деталі



РОЗРАХУНКИ ТОЧНОСТІ ПРИСТОСУВАНЬ

Розрахункова сумарна погрішність пристосування $\Delta_{пр}$:

$$\Delta_{пр} \leq \delta - (k_1 \varepsilon + \Delta_{уст} + k_2 \omega), \text{ [по Косиловой],}$$

δ – допуск на оброблюваній деталі;

k_1 – коефіцієнт, рівний 0,8...0,85;

ε – дійсне значення погрішностей базування заготовки в пристосуванні;

$\Delta_{уст}$ – погрішність установки, тобто зсув заготовки при закріпленні;

k_2 – коефіцієнт, рівний 0,6...1,0;

ω – точність обробки на даній операції (поле допуску) [по Косиловой] .

Дійсна погрішність базування перебуває розрахунковим шляхом.

Умова забезпечення заданої точності

$$\varepsilon \leq \varepsilon_{доп},$$

$\varepsilon_{доп}$ – значення, що допускається, погрішностей базування заготовки в пристосуванні;

$$\varepsilon_{доп} = \delta - \omega .$$

Значення погрішностей установки $\Delta_{уст}$ визначається на основі досвідчених даних.

Сумарна погрішність пристосування

$$\Delta_{пр} = \sum \delta_u + \delta_v + \delta_z + \delta_p,$$

$\sum \delta_v$ – погрішність виготовлення деталей пристосування;

δ_u – погрішність установки пристосування на верстаті;

δ_z – погрішність, внаслідок конструктивних зазорів, необхідних для посадки заготовки на настановні елементи пристосування;

δ_p – погрішність перекосу або змішання інструмента щодо деталі.

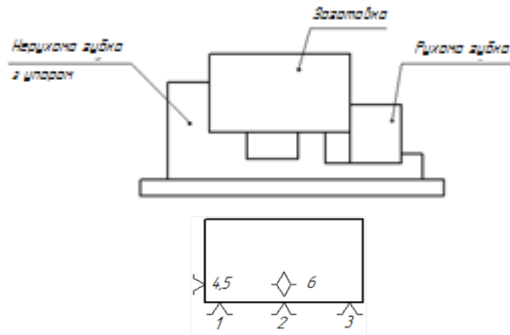
ТОЧНІСТЬ ПРИСТОСУВАНЬ

Пристосування	Деталь	Розміри, мм	Допустима похибка $\Delta_{пр}$, мкм		Похибка дійсна $\Delta_{пр}$, мкм
			Чернава обр.	чистова обр.	
Патрон	циліндр	Ø50×2000	221	137	60
		Ø150×150	391	243	60
	диск	Ø10×5	117	77	60
Вакуумний стіл	tile	195×195×4	595	402	290
Лещата	призма	150×150×800	361	263	120
		20×20×1,5	159	148	120

РОЗРАХУНОК ЗУСИЛЬ ЗАТИСКУ ОПТИЧНИХ ЗАГОТОВОК

Кріплення деталей в лещатах

Схема базування заготовки в лещатах механічних



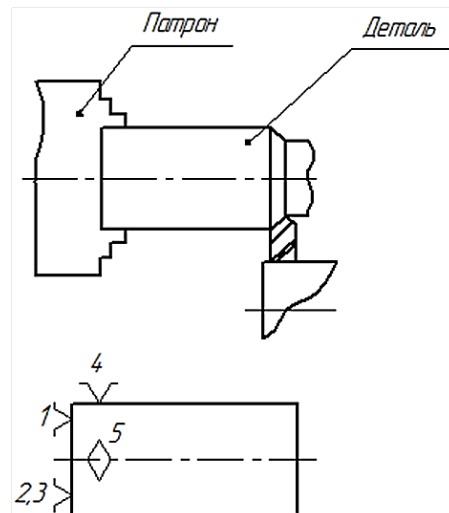
Формули і таблиця результатів розрахунку зусиль затиску заготовки в лещатах механічних (по Косилової)

$$W = \frac{k \cdot P_z}{f_1 + f_2}$$

Деталі: призм. дидал	Етап обробки	Складова сили різання P, Н	Зусилля затиску деталі W, Н
	чорнова	363	3027
	чистове	55	460

Кріплення деталей в трикулачковому патроні

Схема базування заготовки в трикулачковому патроні



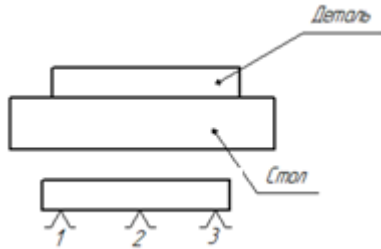
Формули і таблиця результатів розрахунку зусиль затиску заготовки в трикулачковому патроні (по Косилової)

$$W = \frac{D_0 \cdot P_z}{D \cdot \mu}$$

Деталь	Розміри	Етап обробки	Складова сили різання P_z , Н	Зусилля затиску деталі W, Н
Циліндри	Ø78x1000	чорнова	363	1349
		чистова	55	219
	Ø50x2000	чорнова	363	1297
		чистова	55	218
	Ø150x150	чорнова	363	1397
		чистова	55	220
Диски	Ø10x5	чорнова	363	908
		чистова	55	210
	Ø30x15	чорнова	363	1210
		чистова	55	217
Півсфери	Ø1500	чорнова	363	1447
		чистова	55	220
	Ø50	чорнова	363	1297
		чистова	55	218

Кріплення деталей на вакуумному столі

Схема базирования на вакуумном столі



$$W = P \cdot A$$

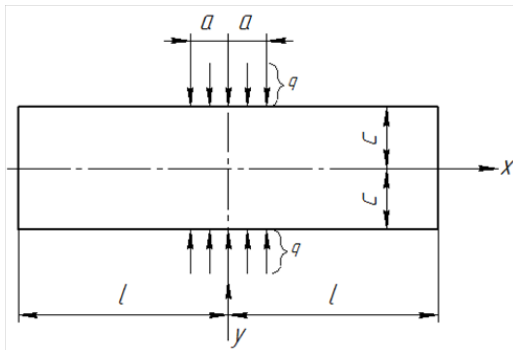
$$W' = W \cdot K$$

Формули і таблиця результатів розрахунку зусиль затиску заготовки на вакуумному столі (по Косилової)

Деталі: tile	Етап	Складові сили різання P_2 , Н
	чорнова	363,2
	чистова	55,2
Зусилля затиску деталі на відрив заготовки W_1 Н	3291	
Зусилля затиску на зрушення заготовки W_2 , Н	494	

Розрахунок напруг, що виникає при зажимі деталей пристосуванням

Схема напружень у призматичних заготовках

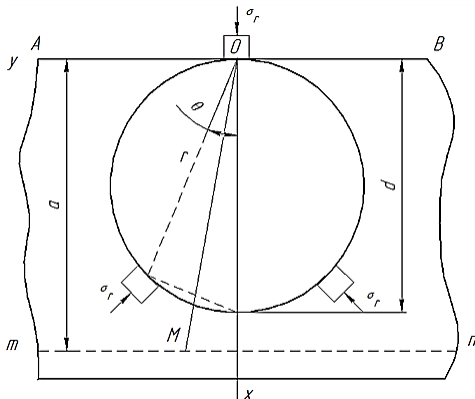


$$\sigma_{y_{max}} = \frac{W}{2 \cdot l \cdot b}, \text{ МПа}$$

Формула та таблиця результатів розрахунку напружень у призматичних заготовках (по Тимошенко)

Деталь	Напруга $\sigma_{r_{max}}$ МПа	
	чорнова обр.	чистова обр.
призма 800 × 150 × 150	0,025	0,004
"Tile" 195 × 195 × 4	3,9	0,59
"Detail" 28 × 180 × 225	0,48	0,073

Схема напруг в циліндричних заготовках



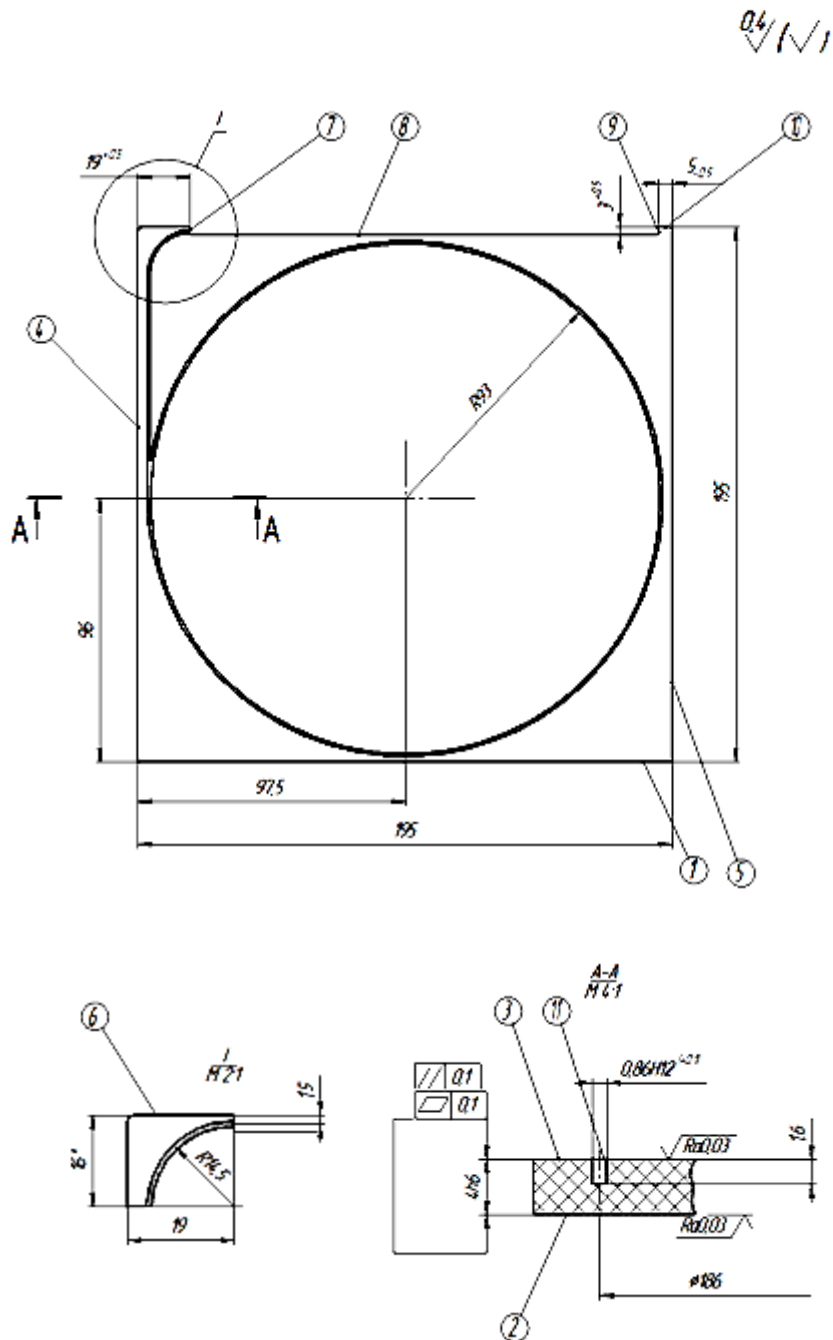
$$\sigma_{r_{max}} = \frac{2 \cdot W}{\pi \cdot d \cdot a}, \text{ МПа}$$

Формула та таблиця результатів розрахунку напруг в циліндричних заготовках (по Тимошенко)

Деталь	Напруга $\sigma_{r_{max}}$ МПа	
	чорнова обр.	чистова обр.
циліндр $\varnothing$ 78 x 1000	0,734	0,12
циліндр $\varnothing$ 50 x 2000	1,1	0,19
циліндр $\varnothing$ 150 x 150	0,395	0,04
диск $\varnothing$ 10 x 5	3,854	0,89
диск $\varnothing$ 30 x 15	1,71	0,31
півсфера $\varnothing$ 1500	0,03	0,005
півсфера $\varnothing$ 50	1,1	0,19

Проведені розрахунки показують, що рівень напруг, в заготовках, не досягає критичних значень (10 МПа) і допускається для чорнової та чистової обробки.

Ескіз деталі «Tile» з нумерацією поверхонь



Розробка маршруту виготовлення деталі «Tile»

№ операції	Найменування операції	Зміст переходу
005	Різання	1. Порізати заготовку на розміри 1, 2, 3
010	Фрезерна	1. Установити, закріпити й зняти заготовку. 2. Фрезерувати, витримавши розміри 1,2. 3. Вибірковий контроль 20%.
015	Фрезерна	1. Установити, закріпити й зняти заготовку. 2. Фрезерувати, витримавши розмір 1,2. 3. Вибірковий контроль 20% .
020	Фрезерна	1. Установити, закріпити й зняти заготовку. 2. Фрезерувати, витримавши розміри 1. 3. Вибірковий контроль 20%.
025	Фрезерна	1. Установити, закріпити й зняти заготовку 2. Фрезерувати, витримавши розмір 1. 3. Вибірковий контроль 20%
030	Фрезерна	1. Установити, закріпити й зняти заготовку. 2. Фрезерувати, витримавши розміри 1,2. 3. Вибірковий контроль 20% .
035	Фрезерна	1. Установити, закріпити й зняти заготовку. 2. Фрезерувати, витримавши розміри 1,2. 3. Вибірковий контроль 20% .
040	Фрезерна	1. Установити, закріпити й зняти заготовку. 2. Фрезерувати, витримавши розміри 1,2. 3. Вибірковий контроль 20% .
045	Фрезерна	1. Установити, закріпити й зняти заготовку. 2. Фрезерувати, витримавши розміри 1,2,3,4,5,6,7,8. 3. Вибірковий контроль 20% .
050	Фрезерна	1. Установити, закріпити й зняти заготовку. 2. Фрезерувати канавку, витримавши розміри 1,2,3,4,5,6,7,8,9. 3. Вибірковий контроль 20% .
055	Полірувальна	1. Установити, закріпити й зняти заготовку 2. Полірувати, витримавши розмір 1 3. Вибірковий контроль 20% .
060	Полірувальна	1. Установити, закріпити й зняти заготовку 2. Полірувати, витримавши розмір 1 3. Вибірковий контроль 20% .
065	Промивання деталі	
070	Контрольна	1. Відсутність тріщин, пухирців і оптичних дефектів; 2. Шорсткість; 3. Контролювати розміри 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7

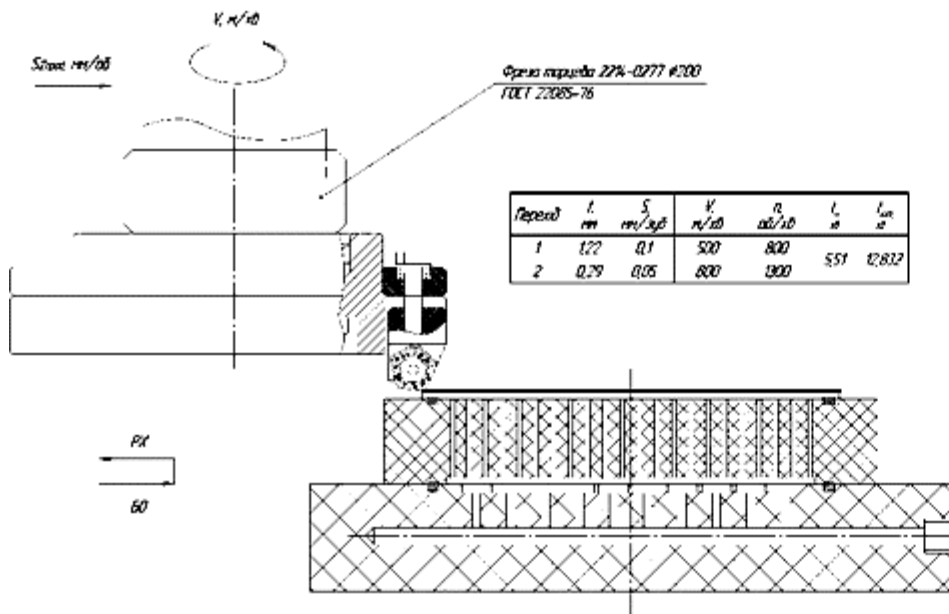
$\sqrt{16}$



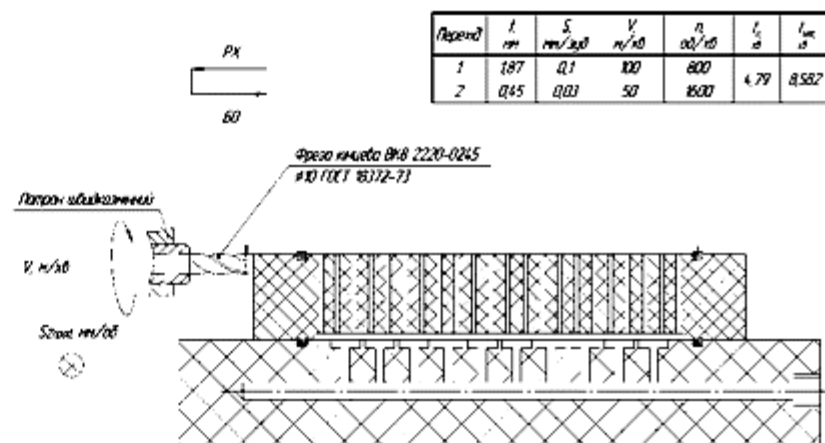
Висота зуба фрези, H , мм	Параметри													
	D_{ϕ} , мм	z	D_x , мм	α°	γ°	ψ°	ε°	ν°	ω°	φ°	H , мм	$t_{окр}$, мм	r , мм	форма зуба
H_{min}	0,86	2	3	30	0	180	180	110	20	90	0,36	1,35	0,14	трапецев идні
H_{max}	0,86	2	3	30	0	180	180	110	20	90	0,432	1,35	0,173	трапецев идні

КАРТИ НАЛАДКИ НА ОПЕРАЦІЇ: 010, 015, 030, 050

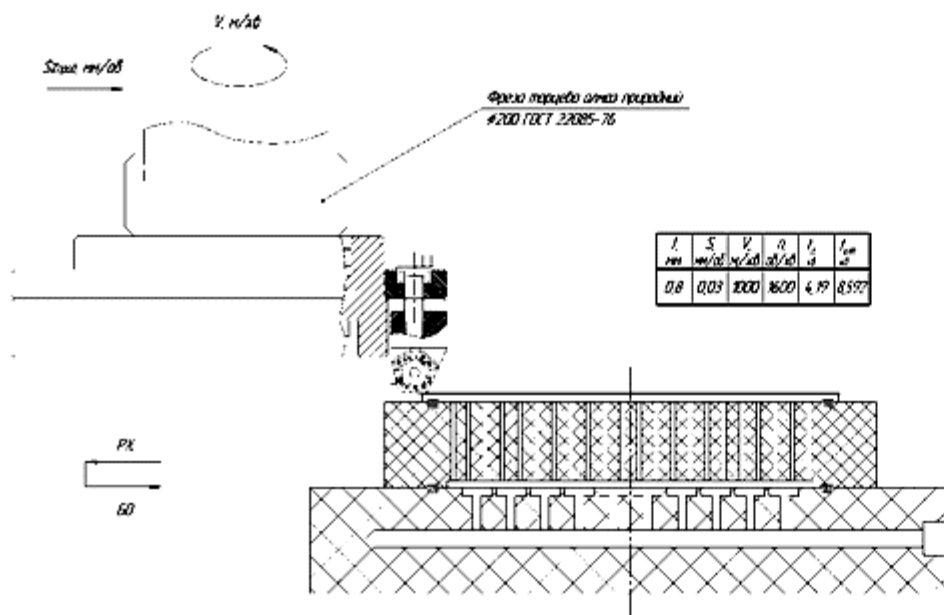
Операція 010 Фрезерка, верстат мод. УНМ 5



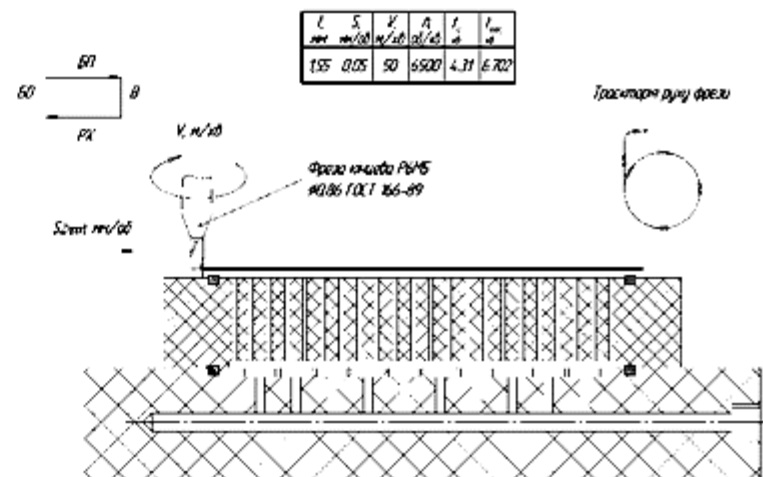
Операція 030 Фрезерка, верстат мод. УНМ 5



Операція 015 Фрезерка, верстат мод. ВБЗ 900



Операція 050 Фрезерування каналів, верстат мод. ВБЗ 900



ВИСНОВКИ

1. Проведений аналітичний огляд вітчизняної й закордонної літератури, що дозволив вивчити властивості оптичних матеріалів, технологію їх виробництва й фізичні особливості процесу різання оптичних полімерів.
2. Проведені дослідження механіки різання оптичних полімерів. На підставі отриманих даних представлені приватні залежності впливу глибини різання на головну складову сили різання при різних значеннях подачі й передніх кутах різального інструменту, що дозволяє прогнозувати силові параметри й напруга в зоні обробки для процесів лезової обробки (точіння, фрезерування, свердління) матеріалу. Створена база даних основних параметрів процесу різання й коефіцієнтів прірезцевих сил для обробки різанням оптичного полістиролу інструментом зі швидкорізальної сталі. Зроблений висновок про те, що найважливішим параметром, що виявляють вплив на силу різання, є глибина різання.
3. Наведена конструкторсько-технологічна класифікація виробів полімерної оптики, на підставі якої можна дати рекомендації з базування й кріпленню заготовок у пристосуваннях стосовно до того або іншому класу деталей.
4. Розглянуті принципи базування й кріплення заготовок у пристосуваннях, згідно з якими зроблені розрахунки зусилля закріплення й характеристик точності пристосувань. На підставі проведених розрахунків можна зробити висновки, що погрішність обробки виробів полімерів у пристосуваннях не перевищує припустимої погрішності на вироби й для закріплення заготовок оптичних полімерів можна використовувати ті ж технологічні підходи, що й при обробці металів. Виключенням є обробка тонкостінних оптичних деталей типу «*Tile*» (сцинтиляційних полістирольних пластин зі складно профільними канавками, підготовленими під світловод.).
5. Проведені розрахунки напруг, що виникають при затискачі деталей пристосуванням. Створена твердо тільна модель обробки полістирольних заготовок при різних умовах за допомогою програмного пакета ANSYS з метою аналізу величин і характеру розподілу напруг і деформацій в оброблюваній деталі (довгомірний і короткий циліндр, призма), які виникають у процесі різання. Установлений характер і рівень значень напруг і деформацій при різних параметрах обробки (швидкості різання, геометрії різця, параметрів перетину шару, що зрізується). Показане, що найбільші напруги й деформації виникають при обробці довгомірних циліндричних деталей при чорновій обробці. Виникаючий рівень напруг і деформацій є гранично припустимим, який може виникати в оброблюваній заготовці. Обробка коротких циліндрів і призм супроводжується невисоким рівнем напруг і деформацій, якщо глибина різання не перевищує 3мм при чорновій обробці.
6. Розроблений технологічний процес виготовлення деталі типу «*Tile*» з урахуванням особливостей матеріалу й вимог до його обробки. Сконструйований дрібно розмірний різальний інструмент для фрезерування полістирольних виробів і пристосування для кріплення заготовки. Призначені раціональні режими різання й розраховані норми часу технологічних операцій.