

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 70 стор, 29 рис, 1 креслення, 4 табл., 15 додатків.

Ключові слова: МОДЕЛЬ, КОНСТРУКЦІЯ ДЕТАЛІ, ТЕХНОЛОГІЧНІСТЬ, МАРШРУТ ОБРОБКИ, ПРИПУСКИ, ОБЛАДНАННЯ, ОСНАЩЕННЯ, РЕЖИМИ РІЗАННЯ, ТЕХНІЧНЕ НОРМУВАННЯ, ТЕХНІЧНИЙ ПРОЦЕС, КЕРУЮЧА ПРОГРАМА.

Завданням на дипломний проект є Програмна обробка моделей для лиття з пінополістеролу на верстатах з ЧПК. В результаті виконання дипломного проекту необхідно вирішити такі задачі:

- визначити суть процесу ЛГМ
- вибір матеріалу для створення моделей
- вибір ріжучого інструменту
- вибір інструментального матеріалу
- вибір обладнання та оснащення для фрезерування пінополістиролу
- розробка керуючої програми
- створення технологічного процесу
- визначення оптимальних режимів різання

Головною метою дипломного проекту є оптимізація умов обробки пінополістиролу на фрезерних верстатах з ЧПК.

REPORT

Software: 70 pages, 29 figures, 1 drawing, 4 tables, 15 sources.

Keywords: MODEL, DETAIL DESIGN, TECHNOLOGICAL EFFICIENCY, PROCESSING ROUTE, ALLOWANCES, EQUIPMENT, TOOLING, CUTTING REGIMES, TECHNICAL STANDARDIZATION, TECHNICAL PROCESS, CONTROL PROGRAM.

The task of the diploma project is the Software Processing of Models for Polystyrene Casting on CNC Machines. The completion of the diploma project involves addressing the following tasks:

- Define the essence of the LGM process.
- Choose the material for creating models.
- Select cutting tools.
- Choose tooling material.
- Select equipment and tools for milling polystyrene.
- Develop a control program.
- Create a technological process.
- Determine optimal cutting regimes.

The main goal of the diploma project is to optimize the processing conditions of polystyrene on CNC milling machines.

ЗМІСТ

	С.
Вступ	7
1 Технологія ЛГМ	9
2 Вибір матеріалу для створення моделей	18
3 Оброблюваність моделей із пінополістиролу.....	25
3.1 Види обробки та інструменту, критерії вибору умов обробки	25
3.2 Аналіз основних деталей, що виготовляються на ЛГМ	27
3.3 Вибір ріжучого інструменту	30
3.4 Вибір інструментального матеріалу	35
3.5 Вибір режимів різання при фрезеруванні	36
3.5.1 Вибір величини подачі мм/хв. та кількості обертів об/хв.	37
3.5.2 Вибір глибини різання	44
3.6 Обробка гарячою струною	45
4 Приклади програмної обробки	48
4.1 Вибір обладнання	48
4.2 Створення програм для ЧПК	58
Висновки	68
Перелік джерел посилань	69

ВСТУП

Розвиток технологій став причиною того, що комп'ютери та інші передові технічні засоби все активніше використовуються в повсякденному житті людей, а також в промисловості. Наприклад, на сучасних промислових підприємствах все частіше можна зустріти фрезерний верстат з ЧПК, який управляється не в ручному режимі оператором, а за допомогою спеціальних комп'ютерних програм і відповідних електронних пристроїв. Завдяки такій системі управління значно полегшується експлуатація верстата, а з процесу виготовлення деталей виключається людський фактор, який може чинити негативний вплив на їх якість і точність обробки.

Фрезерне обладнання дозволяє здійснювати різні технологічні операції: різання, свердління, розрахунок відстаней між отворами, які необхідно виконувати, а також ряд інших.

Матеріали, які можна обробляти на такому обладнанні: деревина, чорні, а також кольорові метали, кераміка, полімерні матеріали, природний і штучний камінь, а також дозволяє робити обробку такого матеріалу як пінопласт і пінополістирол.

Різноманіття матеріалів, придатних для фрезерної обробки, дозволяє застосовувати цю технологію при створенні широкого асортименту виробів в різних виробництвах.

Верстати для фігурного різання пінопласту, з використанням сучасних, комп'ютеризованих технологій, дозволяють створювати практично будь-які вироби найскладнішої форми, швидко, акуратно і відносно недорого. 3D фігурне різання пінопласту використовується для створення: об'ємних букв, логотипів (3D логотипів), вивісок, графіки, написів для зовнішньої та внутрішньої реклами, реквізит магазинів та оформлення вітрин, виставкових стендів, ярмаркових кіосків, елементів декору, декорації, наприклад, для театру кіно, Р.О.Р. дисплеїв для точок продажу, муляжів товарної продукції,

тематичних реквізитів, архітектурних масштабних моделей, ізоляцій труб, колон, форм збірних залізобетонних конструкцій тощо.

Однією з сучасних та перспективних областей застосування деталей з пінопласту, отриманих фрезеруванням, є виготовлення моделей для такої технології ливарного виробництва як лиття за газифікованими моделями (ЛГМ).

І так як ця технологія лиття потребує використання моделей з високою точністю розмірів та дуже гарною якістю поверхні моделі, так як моделі мають дуже малий, або ж взагалі не мають припуску під подальшу механічну обробку, тому модернізація та удосконалення фрезерних верстатів з ЧПК, а також вибір оптимальних параметрів фрезерування пінополістиролу – актуальне завдання, від вирішення якої залежить ефективність виробництва. Для вирішення задачі оптимізації процесу фрезерування пінопласту потрібно враховувати наступні параметри обробки: швидкість різання, швидкість занурення в матеріал, вибір ріжучого інструменту, кут заточування фрези, щільність матеріалу та його однорідність.

Взагалі спосіб лиття по газифікованим моделям є одним із самих новітніх, адже він був запатентований у 1958 р. американським архітектором Г. Шроером і одразу ж ливарники багатьох країн світу проявили до нього підвищений інтерес та почали використовувати в виробництві виливок. А спосіб обробки моделей із пінопласту на фрезерному верстаті з числовим програмним керуванням взагалі почав використовуватися відносно нещодавно. І саме тому по ньому дуже обмежений об'єм опублікованої інформації, що містить доцільні рекомендації.

1 ТЕХНОЛОГІЯ ЛГМ

Перш ніж переходити до розглядання теми фрезерування моделей із пінопласту потрібно дізнатись, що являє собою спосіб лиття за технологією ЛГМ. Однією з головних особливостей технології ЛГМ є те, що моделі, виготовленні із легких піноматеріалів, не видалялись із форми після формовки. Вони залишались в ливарній формі і під час заливки газифікувались за рахунок тепла розтопленого металу який заливався в форми.

Суть процесу лиття за моделями, що газифікуються – розплавлений метал заливають у спеціальний вакуумний ливарний контейнер, в якому знаходиться модель з пінополістиролу, заформована в сухому піску без сполучних матеріалів. Під час заливання метал заміщає порожнину, зайняту моделлю, внаслідок чого утворюється виливок, що точно повторює геометрію моделі. При доторканні з розплавленим металом ливарна система, а потім і модель вигорають (газифікуються) майже миттєво та в виді газів залишають форму, а їх місце займає метал [3].

Ця особливість містила в собі цілу низку можливостей збільшити точність одержуваних виливків. Насамперед відпала необхідність у виконанні ливарних ухилів і цим з'явилася можливість значно зменшити припуски на механічну обробку. Відсутність операції вилучення моделі з форми, зробило ливарну форму нероз'ємною, що також зробило свій внесок у підвищення точності одержуваних виливків за рахунок усунення можливих зрушень і перекосів окремих частин форми по відношенню один до одного.

ЛГМ-процес дозволяє також (за рідкісним винятком) виконати внутрішню конфігурацію виливки повністю в моделі, виключаючи використання стрижнів. Це також підвищує точність виливків. Крім того, спрощує процес формування, виключає витрати на виготовлення стрижнів, підготовку матеріалів для їх виготовлення, транспортування, покращує

екологію за рахунок виключення із застосування шкідливих сполучних і т.д. І, зрештою, значно скорочує цикл виробництва лиття та його собівартість. Властивості пінополістиролу, з якого виготовляється в даний час переважна більшість моделей для ЛГМ-процесу дозволяють проводити складання моделей, що складаються з декількох частин, і складання моделей у модельні блоки шляхом термосклеювання, складання методом «шип-паз» з використанням клеїв і без них. Це значно розширює можливості технолога конструювання ливарної системи, і підведення металу в найбільш сприятливе місце без прив'язки до роз'єму форми. Нероз'ємна ливарна форма дозволяє також розташувати моделі найбільш раціональним способом по всьому об'єму ливарного контейнера або розташувати в контейнері кілька модельних блоків, значно підвищивши коефіцієнт виходу придатного в деяких випадках до 80-85%.

При освоєнні нового способу виготовлення виливків змінилося також уявлення про вимоги до формувального матеріалу – з'явилася можливість використовувати сипкі незв'язані матеріали, такі як сухий кварцовий пісок без сполучних матеріалів, колотий сталевий і чавунний дріб тощо. Процес формування при цьому значно спростився та скоротився. Виготовлення ливарної форми вже не вимагає такої кваліфікованої праці ливарника, як при лиття у піщано-глинисті форми. Відпадають необхідність використання різних смол і закріплювачів, відпадає операція підготовки формувальної суміші та її регенерації. Скорочуються витрати на матеріали та їх транспортування, зменшуються виробничі площі, знижується собівартість лиття. Формувальний пісок, як правило, знаходиться в обороті і поняття «витрата формувальних матеріалів на 1 т придатного лиття» зводиться виключно до поняття «безповоротні втрати піску» - включають втрати при формуванні, транспортуванні, вибиванні та регенерації піску і загалом не перевищують 50 -60 кг на 1 т лиття.

Використання в технологічному процесі лиття за моделями, що газифікуються, всього 4-х матеріалів (пінополістирол — для виготовлення

моделей, кварцовий пісок — як формувальний матеріал, протипригарне покриття, поліетиленова плівка — для вакуумування контейнерів) та недорогого обладнання та оснащення, скорочення та спрощення технологічних операцій, комплексної механізації та автоматизації технологічного процесу зробили привабливою нову технологію для впровадження її на підприємствах різної потужності.

Наявність пінополістиролової моделі у формі під час заливки рідкого металу створює специфічні умови у ливарній формі, коли метал контактує з продуктами газифікації моделі. Формування поверхні виливки, геометрії та фізико-математичних властивостей відбувається внаслідок складних процесів у системі метал – модель – форма.

Для успішного освоєння нового процесу необхідно дослідити властивості пінополістиролу як матеріалу для виготовлення моделей, а також кінетику його фазових перетворень при його деструкції та вплив продуктів термічного руйнування пінополістиролу на властивості металу при заливці, кристалізації та охолодженні; гідравліку ливарної форми, заповненої пінополістиролом; структурно-механічні та теплофізичні властивості сипучих формувальних матеріалів; розробити новий клас газопроникних протипригарних покриттів; створити обладнання для промислового освоєння процесу та забезпечити екологічну безпеку ЛГМ-процесу.

Виготовлення виливків за моделями, що газифікуються, має переважні переваги цього процесу:

- **Якість.** Раніше при розробці нових методик лиття ключовим було питання якості одержуваних виливків. У результаті дослідів показали, що оптимальним хімічним складом сировини виготовлення моделей є полістирол. Він дозволяв одержувати готові вироби з поверхнею без дефектів, підвищеної міцності та зносостійкості.

- **Точність виробів.** У випадку з технологією лиття за моделями, що газифікуються, точність готової продукції відповідає 7 класу за ГОСТ 26645-85. Слід зазначити, що у процесі заливання металу модель повністю

витісняється розплавом. В цьому випадку готовий виріб максимально точно повторює форму конструкції, виготовленої з полістиролу. Якихось недоступних чи прихованих ділянок, розміри яких неможливо було б перевірити, повністю відсутні. У цей час аналогічні технології лиття металів передбачають заливання у форму та її подальше відокремлення від виробу. Це призводило до того, що ховалися дефекти та можливі похибки у розмірах. В результаті потрібна додаткова механічна обробка, що призводить до зайвих фінансових витрат.

- Конфігурація та розмір. Обладнання для лиття за моделями, що газифікуються, дає можливість отримувати виливки, вага яких знаходиться в межах від 10 грам до 1000 кілограм. У цьому чистота поверхні Rz40. Лиття за технологією ЛГМ відкриває широкі можливості виготовлення деталей різної конфігурації

- Метал. Лиття за газифікованими моделями можна використовувати для роботи з широким переліком металів. Зокрема йдеться про чавун, сталь, бронзу, латунь, алюміній. Цей параметр значно розширює сферу використання технології ЛГМ.

- Екологічність. Відлиття виробів з металів вважається найбільш «брудним» та загазованим. У випадку з технологією ЛГМ у процесі заливки металу та охолодження виливки спеціальне обладнання нейтралізує всі гази, що надходять в атмосферу у формі двоокису вуглецю та водяної пари.

- Умови праці. Цей пункт тісно пов'язаний із попереднім. При виготовленні виливків в атмосферу не надходять шкідливі пари. Це позитивно позначається на умовах праці робітників. Крім цього, обладнання для лиття за моделями, що газифікуються, є цілим автоматизованим комплексом. Тяжка фізична праця зведена до мінімуму або повністю відсутня.

- Оперативність та серійність. Перевагою лиття за газифікованими моделями можна вважати можливість виконання замовлень будь-якої серійності через легкість виготовлення та мінімальні виробничі витрати. У

серійному виробництві макетів використовуються напівавтомати. Спеціальні виробничі комплекси можуть легко виконувати як великі партії, і штучні вироби. Крім цього, відсутня необхідність використання високоточних формувальних машин пресування, струшування, а також пристосувань для складання форм. Через війну скорочується виробничі витрати, а продуктивність роботи підвищується.

- Економічність. Вартість отримання виливків одного типу, розміру та складності істотно нижча порівняно з більшістю аналогів. Це з автоматизацією складних процесів і зменшенням часу виробничого циклу. Крім цього, можливість багаторазового застосування формувального піску знижує витрати. Особливо це стосується лиття складних виливків, тому що їх не потрібно додатково обробляти механічним способом. Переваги технології ЛГМ очевидні. Вона вже давно активно застосовується у Кореї, Китаї, Японії, США. У нашій країні лиття за газифікованими моделями тільки починає користуватися широкою популярністю. Проте перспективи його розвитку мають шанси на успіх.

Технологічний процес виготовлення виливків включає наступні операції:

- 1) Перш за все потрібно розробити 3D – модель деталі, яку ми бажаємо отримати литтям. Ця модель може бути створена за допомогою комп'ютерного проектування (САПР)

- 2) Вибір виду пінополістиролу в залежності від виду деталі, а також від вимог які висуваються до цієї деталі

- 3) Підготовка полістиролу (попереднє спінювання) забезпечує отримання моделі заданої щільності.

- 4) Створення програми обробки – за допомогою програм розроблюємо програму фрезерування, яка визначить шлях та глибину фрезерування на основі 3D моделі. Ця програма буде використовуватися фрезерним верстатом для обробки матеріалу.

5) Вибір фрезерного верстата – обираємо верстат, який буде відповідати розмірам та складності моделі. Фрезерний верстат може бути автоматичним з числовим програмним керуванням, або ручним в залежності від вимог.

6) Виготовлення моделі - залежно від величини, геометрії та серійності це може бути автоклавний спосіб, метод теплового удару або вирізка моделі з блочного пінополістиролу за допомогою ріжучого інструменту.

7) Складання моделей (якщо модель складається з декількох частин) і модельних блоків - моделей, зібраних з ливарною системою.

8) Отделка – після фрезерування можливо потрібно буде зробити додаткову ручку обробку моделі, таку як наприклад: шліфівка, окраска та спеціалізована обробка поверхні (замазування дефектів), для того щоб отримати модель яка буде відповідати відповідним заданим параметрам та критеріям.

9) Приготування, нанесення та сушіння протипригарного покриття, яке при ЛГМ-процесі наноситься на поверхню моделі.

10) Формування модельних блоків шляхом засипання їх кварцовим піском з наступним віброущільненням.

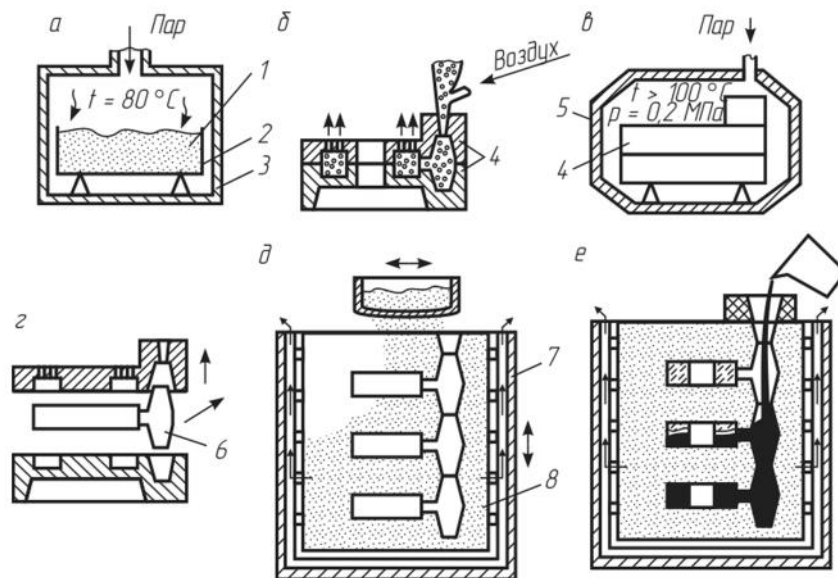
11) Підключення контейнерів до вакуумної системи та заливання рідкого металу (при цьому продукти деструкції видаляються з форми, проходять через установку знешкодження (ступінь очищення - 98%) та в атмосферу видаляються пари води та CO₂).

12) Вибивання контейнерів (після відключення від вакуумної системи, пісок висипається з контейнера і подається на установку регенерації, де очищається від продуктів деструкції пінополістиролу, а виливки подаються на фінішні операції).

13) Точні процеси можуть відрізнятися в залежності від конкретного виробничого контексту та матеріалів, які будуть використовуватися в ливарному процесі.

Технологія лиття за газифікованими моделями в серійному та масовому виробництві ілюструється на рисунку 1.1. Гранульований полістирол 1 (рис.

1.1, а) завантажується у піддон 2 і в закритих ємностях 3 нагріваються паром до температури 80°C , що призводить до набухання його гранул і збільшення їх розміру до 1...15 мм. Після сортування збільшенні гранули задуваються повітрям в роз'ємні, зазвичай алюмінієві, прес – форми 4 (рис. 1.1, б), встановлювані в автоклав 5 з температурою більше 100°C та тиском 0,2 МПа. В цьому середовищі полістирол спінюється та запікається, набуваючи внутрішніх контурів прес – форми. [4] Після вилучення із прес – форми моделі з елементами ливарної системи 6 сушать, склеюють в блоки та покривають один або два рази вогнетривкою обмазкою. Опоки 7 для формування виплавлюваних моделей робляться з двома стінками із зазором між ними. Внутрішня стінка має отвори для виходу утворених при заливанні газів. Формування здійснюється засипанням сухого піску 8 і ущільненням його на вібраційному пристрої, на яке встановлюється опока.



а – набухання гранул пінополістиролу; б – задування гранул у форми;
в – спінення та запікання полістирола в автоклаві; г – вилучення моделей із прес форми і нанесення антипригарного покриття; д – збирання виплавлених моделей в опоку; е – заливання метала у форми розміщеного в опці блока моделей

Рисунок 1.1 – Схема процесу отримання виливків за газифікованими моделями

Моделі для лиття в газифіковані моделі (моделі, які використовуються для створення форм та виливків у ливарній промисловості) повинні відповідати певним вимогам для забезпечення успішного процесу лиття. Ось деякі з основних вимог до цих моделей:

Геометрична точність: Моделі повинні мати високу геометричну точність та відповідати необхідним розмірам та формі деталі, яку ви хочете відлити.

Гладка поверхня: Поверхня моделей повинна бути гладкою та вільною від дефектів, таких як подряпини, тріщини або вм'ятини. Це гарантує якість виливки.

Відповідний матеріал: Матеріал моделей повинен бути стійким до високих температур і тиску, оскільки ливарний процес зазвичай включає експозицію високим температурам і агресивним середовищам.

Простота вилучення: Моделі повинні бути спроектовані з урахуванням можливості вилучення із форми після лиття. Це може включати поглиблення і виступи для полегшення вилучення моделі.

Стійкість до деформації: Моделі повинні бути здатними витримувати деформації та зміни розмірів у процесі лиття під час впливу температури та тиску.

Висока теплопровідність: Матеріал моделей повинен мати хорошу теплопровідність, щоб рівномірно розподіляти тепло під час лиття.

Стійкість до спалювання: Якщо моделі використовуються в процесі лиття з використанням газифікованих форм, то вони повинні бути стійкими до спалювання при контакті з розжареним металом та газифікованим піском.

Маркування: Моделі можуть вимагати маркування або ідентифікації для зручності їх відстеження та обліку в процесі лиття.

Відповідальність та контроль якості: Важливо мати системи контролю якості, щоб гарантувати, що моделі відповідають усім вимогам та нормам якості перед використанням у процесі лиття.

Характерною рисою способу лиття по моделях, що газифікуються, є можливість отримання виливків по моделях без формувальних ухилів, зі зменшеними припусками на механічну обробку і без стрижневих знаків, так як отвори і виступаючі частини утворюються самою моделлю. При цьому значно спрощується процес формування: модель з ливарною системою встановлюється в опоку на попередньо насипаний шар формувальної суміші і засипається нею до рівня ливарної чаші. [5] Ущільнення суміші може виконуватися вручну або на вібраційному столі. Перспективним вважається спосіб формування пінополістиролових моделей із застосуванням рідких сумішей, що само твердіють. Всі розглянуті вище способи лиття свідчать про те, що моделі, що газифікуються, не тільки зменшують трудомісткість виготовлення модельної оснастки, але і дають можливість виконувати нероз'ємні форми.

2 ВИБІР МАТЕРІАЛУ ДЛЯ СТВОРЕННЯ МОДЕЛЕЙ

Моделі для технології ЛГМ виготовляються в основному із пінопласту та пінополістиролу. Ці два види матеріалів часто використовують як синоніми, але це абсолютно різні матеріали, вони відрізняються в основному способом виготовлення та структурою. Пінопласт та пінополістирол виготовляють із однієї сировини – полістиролу, але за різними технологіями. У процесі виробництва пінопласту на сировину обдають паром з високою температурою для того, аби матеріал пінився [6]. Під час виготовлення пінополістиролу сировина нагрівається до рідкого стану у спеціальному пристрої - екструдері. А потім вона пропускається через екструзійну головку під тиском. Тому, власне, і названа матеріалу - екструдований пінополістирол.

У зв'язку з тим, що процес виготовлення зазначених матеріалів різний, технічні та експлуатаційні характеристики теж відрізняються. І так як пінопласт представляє собою в основному склейку із багатьох кульок, тому він не підійде для фрезерування на верстаті бо під час його обробки ці кульки почнуть відриватися та відлітати від інших, тому оброблювана поверхня буде наче рваною і зовсім не придатною для подальшої роботи. А ось пінополістирол має більш закриту структуру та більшу щільність і саме його ми будемо використовувати в обробці. Пінополістирол буває різний, та може відрізнятися за деякими характеристиками.

Екструдований пінополістирол PNP MG шорсткий - вискоєфективний теплоізоляційний матеріал, жорсткий спінений термопласт з шорсткою поверхнею для забезпечення відмінної адгезії [7]. Має переважно характерний насичений помаранчевий колір.



Рисунок 2.1 – Полістирол PNP MG

Характеристики:

- Клас горючості Г4
- Щільність 27 кг/м²
- Міцність на стиск при 10% лінійній деформації 0,12-0,15 МПа
- Товщина 20 мм
- Ширина 585 мм
- Довжина 1185 мм
- Кількість листів в упаковці 20 шт
- Об'єм упаковки 0,28 м³
- Площа листа 0,69 м²
- Країна-виробник Молдова

Екструдований пінополістирол BAUFOAM 300-50мм

BAUFOAM 300 – високоякісний теплоізоляційний матеріал з екструдованого пінополістиролу, що володіє одним з найнижчих коефіцієнтів теплопровідності серед утеплювачів, що широко застосовуються в будівництві, а також містить графіт. Завдяки своїй замкнутій комірчастій структурі, BAUFOAM 300 має високі теплоізоляційні властивості, не вбирає

вологу і має високу міцність на стиск. [7] Має переважно характерний насичений зелений колір

Жорсткі плити з екструдованого пінополістиролу. Виконання з гладкою поверхнею і прямою кромкою. Універсальні щодо сфери застосування. Завдяки тому, що мають однаково рівні ортогональні поверхні, можуть застосовуватися з мінімумом відходів.



Рисунок 2.2 – Полістирол BAUFOLAM

Характеристики :

- Товщина, мм 20 – 150
- Допуски на розміри, клас T1
- Міцність на стиск або напруга на стиск при 10% деформації, рівень, не менше CS (10/Y) 150 (≥ 150 кПа) CS (10/Y) 200 (≥ 200 кПа) CS (10/Y) 300 (≥ 300 кПа) .)
- Реакція на вогонь, клас F F E

- Заявлена теплопровідність λ_D , Вт/м·К, не більше: – для товщини від 20 мм до 100 мм; – для товщини понад 100 мм 0,034 0,035
- Заявлений термічний опір R_D , м² К/Вт 0,55 – 4,25
- Тривале водопоглинання, рівень $W_L(T)$ 0,7 ($\leq 0,7\%$) $W_L(T)$ 3 ($\leq 3\%$) для фрезерованих або рифлених поверхонь плит
- Щільність: кг/м³ 23-27.
- Міцність на стиск при 10% деформації: 0.15 МПа.

Екструзійний пінополістирол CARBON ECO являє собою теплоізоляційний матеріал з рівномірно розподіленими замкнутими порами. CARBON ECO не вбирає воду, не набухає та не дає усадку, хімічно стійкий і не схильний до гниття. Висока міцність дозволяє отримати рівну і одночасно жорстку основу, що істотно збільшує термін експлуатації всієї теплоізоляційної системи. Має переважно характерний сірий або майже білий колір.



Рисунок 2.3 – Полістирол CARBON ECO

Основні фізико-механічні характеристики:

Найменування показника	Од. виміру	Критерій	Значення	Метод випробування
Міцність на стиск при 10% лінійній деформації				
- 10 мм			50	
= 20 мм			100	
- 30 мм	кПа	не менше	150	ДСТУ Б В.2.7-38-95
- 40 мм			200	
від 50 до 100 мм			200	
Горючість	ступінь	-	Г4	ДСТУ Б В.2.7-19-95
Теплопровідність для визначення терміну ефективної експлуатації:	Вт/м*К	не більше	0,034	ДСТУ Б В.2.6-189:2013
λ_A			0,035	ДСТУ Б В.2.6-189:2013
λ_B				
Модуль пружності	МПа		17	ДСТУ Б В.2.7-253:2011
Питома теплоємність	кДж/(кг °С)		1,42	ДСТУ Б В.2.7-38-95
Водопоглинання за 24 год, % за об'ємом	%	не більше	0,4	ДСТУ Б В.2.7-38-95
Границя міцності при статичному згині				
- 10 мм			0,10	
- 20 мм	МПа	не менше	0,10	ДСТУ Б В.2.7-38-95
від 30 до 100 мм			0,20	
Термін ефективної експлуатації	років	Не менше	25*	ДСТУ Б В.2.7-182:2009
Температура експлуатації	°С	в межах	Від -50 до +75	

* - згідно з Протоколом №179-278-18К від 28.09.2018р.

Геометричні параметри*:

Найменування показника	Од. виміру	Значення	Метод випробування
Довжина	мм	1200 (±10)	Д
Ширина	мм	600 (±8)	Д
Товщина (з кроком 10 мм)**	мм	20 (-2, +2)	Д
Форма кромки		пряма	Д
		L-кромка	С

* - за погодженням із споживачем можливе виготовлення плит інших розмірів

** - плити товщиною від 60 мм і більше можуть проводитися із застосуванням методу ThermoBonding

Рисунок 2.4 – Основні фізико – механічні характеристики

Як ми можемо бачити із опису вище, однією з головних відмінностей цих видів пінополістиролу є міцність на стиск при 10% лінійній деформації, а також щільність. Саме ці характеристики мають найбільш впливовіше значення при врахуванні режимів різання, закріплення та інших факторів обробки пінополістиролу.

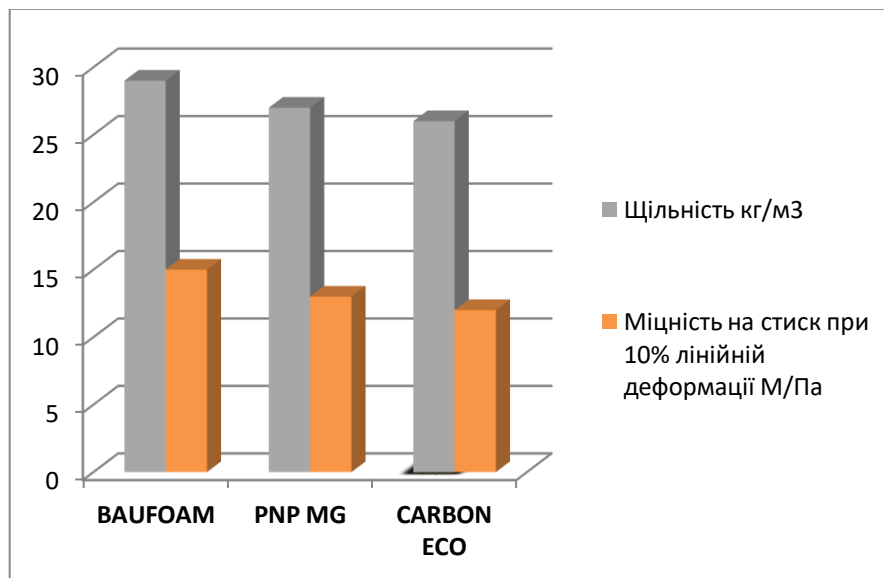


Рисунок 2.5 – Діаграма порівняння основних характеристик

Найбільшу щільність та міцність на стиск має полістирол BAUFOAM

Щільність: кг/м³ 23-27.

Міцність на стиск при 10% деформації: 0.15 МПа.

Трохи менше за нього має полістирол PNP MG

Щільність 27 кг/м³

Міцність на стиск при 10% лінійній деформації 0,12-0,15 МПа

Та найменші значення цих показників має полістирол CARBON ECO

Щільність 26 кг/м³

Міцність на стиск при 10% лінійній деформації 0,12-0,15 МПа

Із усієї цієї інформації можемо зробити висновок що усі ці види пінополістиролу добре підходять для фрезерування. Але так як вимоги до кожної з моделей різні, тому ми не можемо підібрати тільки один універсальний вид пінополістиролу. Тому що наприклад CARBON ECO найкраще підходить для ЛГМ бо має малу щільність і як наслідок виділяє меншу кількість газу, і виливки виходять більш якісні. Але його можна використовувати лише для фрезерування моделей відносно невеликого розміру, бо чим більша модель тим більше вона піддається такому виду дефекту як короблення, особливо після обробки гарячою струною, бо вона створює поверхневий натяг на поверхні. А ось пінополістирол з найбільшою щільністю майже не піддається такому дефекту, але він також має такий недолік коли після фрезерування на ньому краще видно всі дефекти після фрезерування. Для обробки гарячою струною більш всього підходить полістирол PNP MG бо він має середні показники, і струна його не плавить так сильно як менш щільний, та не тягнеться як у більш щільному. Тому для кожної з моделей пінополістирол підбирається індивідуально.

* Лише до 30 мм та вище

3 ОБРОБЛЮВАНІСТЬ МОДЕЛЕЙ ІЗ ПІНОПОЛІСТИРОЛУ

3.1 Види обробки та інструменту, критерії вибору умов обробки

Для фрезерування пінопласту (полістиролу) рекомендується використовувати інструменти та обладнання спеціально призначені для роботи з цим матеріалом. Пінопласт дуже тендітний і легкий матеріал, який може бути легко пошкоджений при неправильній обробці.

Ось кілька інструментів та методів, які можна використовувати для фрезерування пінопласту:

Фрезер для пінопласту: Існують спеціальні фрезери з різальними інструментами, призначені для роботи з пінопластом. Ці фрезери мають гострі ножі або леза, які м'яко та рівномірно видаляють матеріал. [9]

Гарячий дріт: Цей метод має на увазі використання натягнутої нитки з гарячого дроту для різання та формування пінопласту. Гарячий дріт створює гладкі та чіткі краї.

CNC-фрезер: Верстат з числовим програмним керуванням (CNC), можна програмувати його для фрезерування пінопласту з високою точністю та повторюваністю.

Ножі та леза: Звичайні ножі та леза також можуть використовуватися для різання та обробки пінопласту, але в цьому випадку потрібна обережність та навичка, щоб уникнути розривів та нерівностей.

Шліфування: Для обробки країв або поверхні пінопласту можна використовувати абразивні матеріали, такі як шліфувальний папір або абразивні блоки.

Фрези для обробки пінопласту мають особливу геометрію, яка спроектована для забезпечення ефективної та безпечної роботи з цим крихким матеріалом.

Майже всі ці інструменти нам потрібно буде використати для обробки моделей з пінополістиролу, більш деталей зупинимось на виборі фрез.

Фрезерна обробка пінопласту має свої особливості тому і фрези мають відповідати цим вимогам:

Основні особливості геометрії фрез для пінопласту мають включати:

Гострі кути: Фрези для пінопласту мають гострі кути ріжучих кромки. Це допомагає зменшити шорсткість поверхні та мінімізувати розриви та висвердлювання матеріалу.

Паралельні ріжучі кромки: Геометрія фрез може включати паралельні ріжучі кромки, які допомагають у створенні рівних і гладких поверхонь.

Велика глибина різання: Фрези для пінопласту часто мають велику глибину різання. Це збільшує ймовірність пошкодження матеріалу та забезпечує більш швидку обробку.

Малий кут нахилу лез: Кут нахилу лез фрез для пінопласту має бути часто невеликий, що сприяє створенню чистих і рівних різів.

Невелика ширина фрези: Фрези для пінопласту можуть мати відносно невелику ширину, що покращує контроль та точність роботи.

Висока швидкість обертання: При обробці пінопласту рекомендується використовувати високі швидкості обертання фрези та високі подачі, щоб уникнути розривів та висвердлювання матеріалу.

Незамкнені канавки: Фрези для пінопласту можуть мати канавки, які не замикаються в кільце, що допомагає покращити виведення стружки та зменшити нагрівання.

Спеціальне покриття: Деякі фрези для пінопласту можуть мати спеціальне покриття, таке як алмазне або карбідне, щоб збільшити термін служби та зменшити тертя.

Наявність стружколому: при обробці з великою глибиною різання для того щоб стружка не накопичувалася в зоні обробки та не погіршувала якість поверхні. Він спроектований таким чином, щоб розривати довгі стружки, які утворюються в процесі фрезерування. [8] Він облегшує виведення стружки із області різу та знижує знос інструменту, а це в свою чергу підвищує ефективність та довговічність роботи. Покращує якість поверхні, стружколом

може допомогти з отриманні більш чистих та гладких поверхонь, так як він зменшує імовірність появу ворсинок або порушення структури матеріалу. Стружколоми можуть мати різні конструкції та форми в залежності від типу фрезу та щільність пінополістиролу з яким вони працюють. [10]

3.2 Аналіз основних деталей що виготовляються на ЛГМ

Перш ніж переходити до вибору інструменту для кожного з видів обробки поверхні. Потрібно проаналізувати які деталі в основному виготовляються із пінополістиролу, а також які можуть пред'являтися до них вимоги.

1. Деталь №1 Плита

Деталь представляє собою прямокутник зі спеціалізованими ніжками для закріплення в місці своєї зборки. Має спеціальні ребра жорсткості для забезпечення надійної жорсткості деталі.

Має такі габаритні розміри:

Ширина = 500 мм

Довжина = 650 мм

Висота = 70 мм.

Має наступні конструктивні особливості:

- на бокових поверхнях по периметру має нахил з кутом в 3 градуси
- має випукле гравіювання з датою та місяцем виробництва
- майже на всіх поверхнях окрім поверхні ніжок має ливарний радіус який дорівнює 3-5мм
- відносно великий габарит розмірів

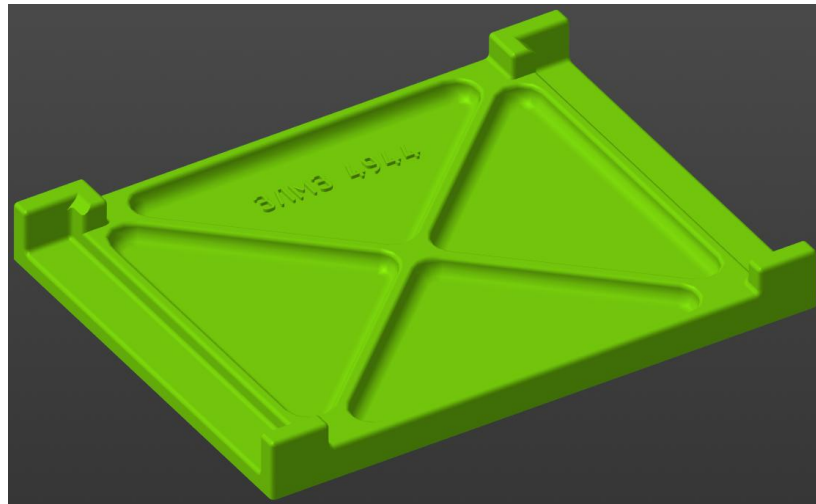


Рисунок 3.1 – 3D модель плити

Основні вимоги до деталі "Плита":

Повна або часткова (до 3мм.) відсутність такого виду деформації як короблення по площі деталі

2. Деталь №2 Ланка ланцюга

Деталь представляє собою складну геометричну і технологічну конфігурацію

Має такі габаритні розміри:

Ширина = 203

Довжина = 405

Висота = 105

Має наступні конструктивні особливості:

- 4 бокові отвори які ускладнюють обробку деталі
- довгу та зовсім не жорстку стінку товщиною 19 мм.
- 6 ребер жорсткості з радіусами в місці їх з'єднання з поверхнею
- ливарні радіуси на всій поверхні стінок

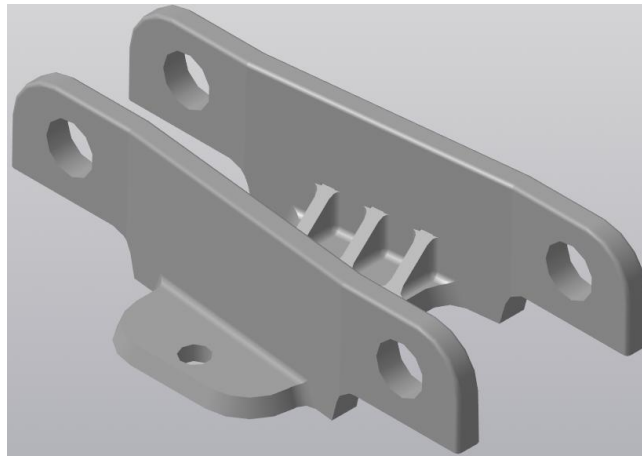


Рисунок 3.2 – 3D модель деталі "Ланка ланцюга"

3. Деталь №3 Диск грохоту

Ця деталь найменша із усіх. Та має найбільше вимог до якості поверхні та точності. А також за рахунок свого розміру вона більш прискіплива до лиття рідкого металу.

Має такі габаритні розміри:

Описаний діаметр = 170 мм.

Висота = 40 мм.

Має наступні конструктивні особливості:

- кут лише у 2 градуси по внутрішньому отвору
- не жорстка стінка товщиною 15 мм.
- ливарні радіуси на всій поверхні стінок



Рисунок 3.3 – 3D модель диску грохоту

4. Деталь № 4 Кришка люка

Деталь представляє собою полий циліндр з багатьма отворами.

Має такі габаритні розміри:

Діаметр 400 мм

Висота 95 мм.

Однією з головних особливостей цієї деталі є, наявність багатьох отворів по периметру циліндра. Спеціалізовані ребра жорсткості, а також наявність двох "вушок" на зворотній стороні деталі

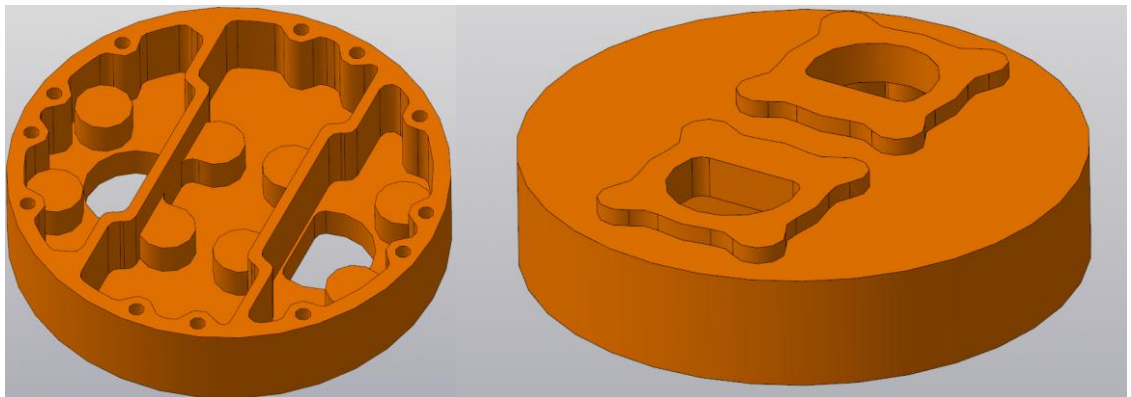


Рисунок 3.4 – 3D модель кришки люка

3.3 Вибір ріжучого інструмента

Виходячи з обраних вище моделей для обробки можемо зробити висновок, що в нас будуть виконуватися наступні види обробки:

Обробка торцевої поверхні. Площа якої має бути паралельна торцю фрези. Для цієї обробки нам підійде тільки фреза з плоским торцем, для того щоб на поверхні моделі не залишалося так званих "гребінців", а також бажано обирати фрезу з оптимально великим діаметром для прискорення обробки.

Обробка бокової поверхні. Площа поверхні обробки її перпендикулярна торцю фрези. Для цієї обробки нам потрібна фреза із заточкою по всій боковій її поверхні, а також повинна бути витримана оптимальна довжина щоб можна було обробити будь яку модель з розміром висоти до 100. И так як ми будемо використовувати таку довгу фрезу, тоді потрібно обирати їй такий діаметр, щоб забезпечити надійну жорсткість.

Обробка бокової поверхні з певним кутом нахилу. Для цієї обробки нам потрібна майже така ж сама фреза як і в обробці вище. От тільки головною відмінністю є те, що вона повинна мати не плоский торець а радіусний. Це робиться для забезпечення гарної якості поверхні, відсутності "СХОДИНОК", а також прискорення фрезерування.

Обробка великої площі. Для того щоб заощадити пінополістирол ми інколи робимо розбивання його на декілька частин певної висоти за допомогою гарячого дроту. Після цього у всіх випадках створюється поверхневий натяг заготовки, який призводить до вигинання країв листа до його центру і це призводить до такого виду дефекту як короблення. І саме тому нам потрібно відпустити цей поверхневий натяг. Це робиться механічним методом використовуючи фрезу. Для обробки усієї, або майже всієї поверхні плити. Для задання певної висоти. Нам потрібна фреза з максимально великим діаметром, для максимального прискорення обробки, а також для забезпечення рівномірної поверхні без "малювання" та задирів.

Обробка отворів. Так як пінополістирол не може виводитися по стружковим каналам так само як наприклад сталь. Тому при виборі фрези для обробки отворів, потрібно обирати фрезу меншу за діаметром ніж діаметр фрези, щоб стружка від пінополістиролу не забивалася в оброблюваному отворі та не зіпсувала розміри моделі та сам процес обробки.

Створення маркування. Для цієї обробки нам потрібно обирати фрезу дуже малу за діаметром (до 2 мм), а також вона обов'язково повинна мати радіус закруглення який дорівнює $D * 0,5 = R$.

Для обробки торцевої поверхні обираємо:

Фреза кінцева спіральна трьохзахідна зі стружколом. [13].

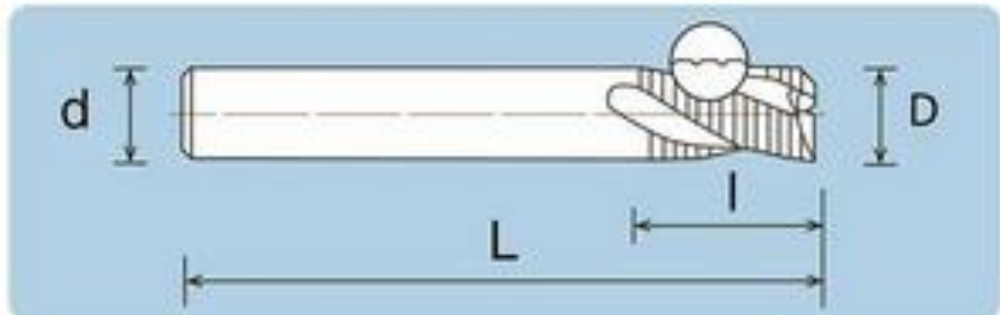


Рисунок 3.5 – Фреза кінцева спіральна

Характеристики:

- Робочий діаметр $D = 12$ мм
- Діаметр хвостовика $d = 12$ мм
- Робоча висота $l = 100$ мм.
- Загальна довжина $L = 165$ мм
- Кількість зубів $Z = 3$ шт.

Призначення: обробка Акрил (Оргскло), ПВХ, Полікарбонат, Полістирол, ДСП, МДФ, ЛДСП, Деревина м'яких, твердих порід, Композитні матеріали, Пінопласт, Фанера

Для обробки бокових поверхонь, або поверхонь із певним нахилом, створення ливарних радіусів обираємо фрезу:

Фреза радіусна спіральна трьохзахідна зі стружколомом



Рисунок 3.6 – Фреза радіусна спіральна

Характеристики:

- Робочий діаметр $D = 12$ мм
- Діаметр хвостовика $d = 12$ мм
- Радіус торцю $R = 6$ мм.
- Робоча висота $l = 100$ мм.
- Загальна довжина $L = 165$ мм
- Кількість зубів $Z = 3$ шт.

Для вирівнювання поверхні плити пінополістиролу обираємо фрезу:
Дискова прямозуба фреза [13].



Рисунок 3.7 – Фреза дискова прямозуба

Характеристики:

- Загальна довжина фрези: 75 мм
- Кількість ріжучих граней: 6 шт.
- Діаметр хвостовика: 8 мм
- Тип хвостовика: циліндричний
- Висота робочої частини: 7 мм.
- Діаметр робочої частини: 50мм
- Тип лез: напайні.

Для створення маркування обираємо фрезу:

Кінцева радіусна гравіювальна фреза [14].



Рисунок 3.8 – Фреза кінцева радіусна гравіювальна

Характеристики:

- Загальна довжина фрези: 50 мм
- Кількість ріжучих граней: 1 шт.
- Діаметр хвостовика: 4 мм
- Тип хвостовика: циліндричний
- Висота робочої частини: 5 мм.
- Діаметр робочої частини: 2мм
- Радіус закруглення фрези: 0,5 мм.

3.4 Вибір інструментального матеріалу

Від ріжучого інструменту залежить те яка вийде модель, з якими розмірами та класом якості поверхні. І саме тому від вибору матеріалу для інструменту залежить наша майбутня модель. Фрези із певного матеріалу повинні мати великий захист від розкришення та розтріскування, також вони повинні запобігати налипанню на них розплавленого пінопласту який виникає під час високої швидкості обробки. [11] В основному фрези виготовляють із наступних матеріалів:

Вольфрамовий карбід (ВК): Фрези з ріжучими елементами вольфрамового карбиду (ВК) зазвичай використовуються для обробки дерева. ВК - це твердий матеріал, який має високу твердість і зносостійкість. Він добре підходить для обробки різних видів дерева, включаючи м'які та тверді породи. Фрези з ВК зазвичай довговічні та забезпечують якісне різання. [12].

Ножі зі швидкорізальної сталі (HSS): Фрези з ножами зі швидкорізальної сталі також добре підходять для обробки деревини. Вони легше обслуговувати і менш дорогі порівняно з ВК. Однак вони менш зносостійкі і можуть вимагати частішого заточування.

Плазмово-напилені фрези: Ці фрези мають покриття з твердих матеріалів, таких як карбід титану, і мають хорошу зносостійкість і довговічність. Вони можуть бути ефективними при обробці деревини.

Фрези з алмазними наконечниками: Алмазні наконечники використовуються для обробки особливо твердих або абразивних порід дерева. Вони забезпечують високу точність і довговічність, але вони також можуть бути дорогими.

Для обробки пінополістиролу (ППС) найбільш підходящим матеріалом для фрез є вольфрамовий карбід (ВК). Ось кілька причин, чому ВК є найбільш доцільним вибором:

Твердість і зносостійкість: Вольфрамовий карбід - це твердий матеріал, який має високу зносостійкість. Це важливо, оскільки обробка ППС може бути абразивною і призводити до швидкого зношування ріжучих кромek.

Опір до залишкового накопичення матеріалу: При роботі з ППС є ризик, що стружка, що утворюється, може прилипати до фрези і викликати заїдання. Вольфрамовий карбід має добрий опір цьому явищу.

Висока точність: Фрези з ВК здатні забезпечувати високу точність та чистоту обробки, що важливо при роботі з пінополістиролом.

Довговічність: Фрези з вольфрамового карбіду зазвичай довговічні та можуть забезпечувати стабільну продуктивність протягом тривалого часу.

3.5 Вибір режимів різання при фрезеруванні

Так як обробка пінополістиролу це один із самих новітніх технологічних процесів, тому для нього ще не створили ніякі довідники із рекомендаціями по вибору режим різання та самому процесу обробки. Тому ми будемо самі створювати ці довідники за допомогою експериментів з режимами різання для кожного з виду обробок поверхні. Найбільш важливі показники режимів різання це оберти шпинделю, подача та глибина різання тому саме їх ми і будемо обирати. Обраний нами верстат дозволяє обирати подачі від 100 мм/хв до 5000 мм/хв, а також оберти шпинделю від 100 об/хв до 15000 об/хв. А максимальна глибина різання яку можна застосувати для фрезерування пінополістиролу дорівнює 50 мм. Пропоную проводити дослід із декількома найменшими, середніми та найбільшим з цих показників, а потім після кожної з обробок зробимо оцінку якості поверхні від 1 до 10, це 1 це найгірша якість поверхні (погана шорсткість, наявність ворсинок, підплавлення поверхні, задири і тд.), а 10 це найкраща якість поверхні.

3.5.1 Вибір величини подачі мм/хв та кількості обертів об/хв.

Для проведення дослідів по обробці торцевої поверхні обираємо площину обробки 100 х 100 мм. Та розбиваємо його на 4 сектори, кожен буде відповідати відповідній глибині різання 2мм, 10мм, 25мм та 50мм. Проводимо дослідів із різними значеннями робочої подачі, після завершення дослідів оцінюємо якість поверхні за 10 бальною шкалою, де 1 – деталь не допускається під подальше заливання металом, а 10 – це максимально доступний високий показник шорсткості поверхні.



а



б

Рисунок 3.9 – Результати обробки з подачею 250 мм/хв та подачею врізання 200 мм/хв (а – торцева поверхня, б – бокова поверхня)

За результатами першого дослідів можемо зробити наступні оцінки якості торцевої поверхні:

При глибині різання 2 мм – 10 бал. ; 10 мм – 10 бал. ; 25 мм – 10 бал. ; 50 мм – 10бал;

Бокової поверхні: 10 бал.



а



б

Рисунок 3.10 – Результати обробки з подачею 1000 мм/хв та подачею врізання 700 мм/хв (а – торцева поверхня, б – бокова поверхня)

За результатами другого дослідження можемо зробити наступні оцінки якості торцевої поверхні:

При глибині різання 2 мм – 8 бал. ; 10 мм – 8 бал. ; 25 мм – 8 бал. ; 50 мм – 8 бал.;

Бокової поверхні: 9 бал.



а



б

Рисунок 3.11 – Результати обробки з подачею 2500 мм/хв та подачею врізання 2000 мм/хв (а – торцева поверхня, б – бокова поверхня)

За результатами третього дослідження можемо зробити наступні оцінки якості торцевої поверхні:

При глибині різання 2 мм – 6 бал. ; 10 мм – 6 бал. ; 25 мм – 6 бал. ; 50 мм – 6 бал.;

Бокової поверхні: 7 бал.



а



б

Рисунок 3.12 – Результати обробки з подачею 4500 мм/хв та подачею врізання 4000 мм/хв (а – торцева поверхня, б – бокова поверхня)

За результатами четвертого дослідження можемо зробити наступні оцінки якості торцевої поверхні:

При глибині різання 2 мм – 6 бал. ; 10 мм – 6 бал. ; 25 мм – 6 бал. ; 50 мм – 6 бал.;

Бокової поверхні: 6 бал.



а



б

Рисунок 3.13 – Результати обробки з подачею 2500 мм/хв та подачею врізання 2000 мм/хв, та кількістю обертів 8000 об/хв (а – торцева поверхня, б – бокова поверхня)

За результатами п'ятого дослідження можемо зробити наступні оцінки якості торцевої поверхні:

При глибині різання 2 мм – 4 бал. ; 10 мм – 4 бал. ; 25 мм – 4 бал. ; 50 мм – 4 бал.;

Бокової поверхні: 5 бал.



а



б

Рисунок 3.14 – Результати обробки з подачею 2500 мм/хв та подачею врізання 2000 мм/хв, та кількістю обертів 5000 об/хв (а – торцева поверхня, б – бокова поверхня)

За результатами шостого дослідження можемо зробити наступні оцінки якості торцевої поверхні:

При глибині різання 2 мм – 2 бал. ; 10 мм – 2 бал. ; 25 мм – 2 бал. ; 50 мм – 2 бал.;

Бокової поверхні: 3 бал.



а



б

Рисунок 3.15 – результати обробки з подачею 2500 мм/хв та подачею врізання 2000 мм/хв, та кількістю обертів 13000 об/хв (а – торцева поверхня, б – бокова поверхня)

За результатами сьомого дослідження можемо зробити наступні оцінки якості торцевої поверхні:

При глибині різання 2 мм – 8 бал. ; 10 мм – 8 бал. ; 25 мм – 8 бал. ; 50 мм – 8 бал.;

Бокової поверхні: 8 бал.

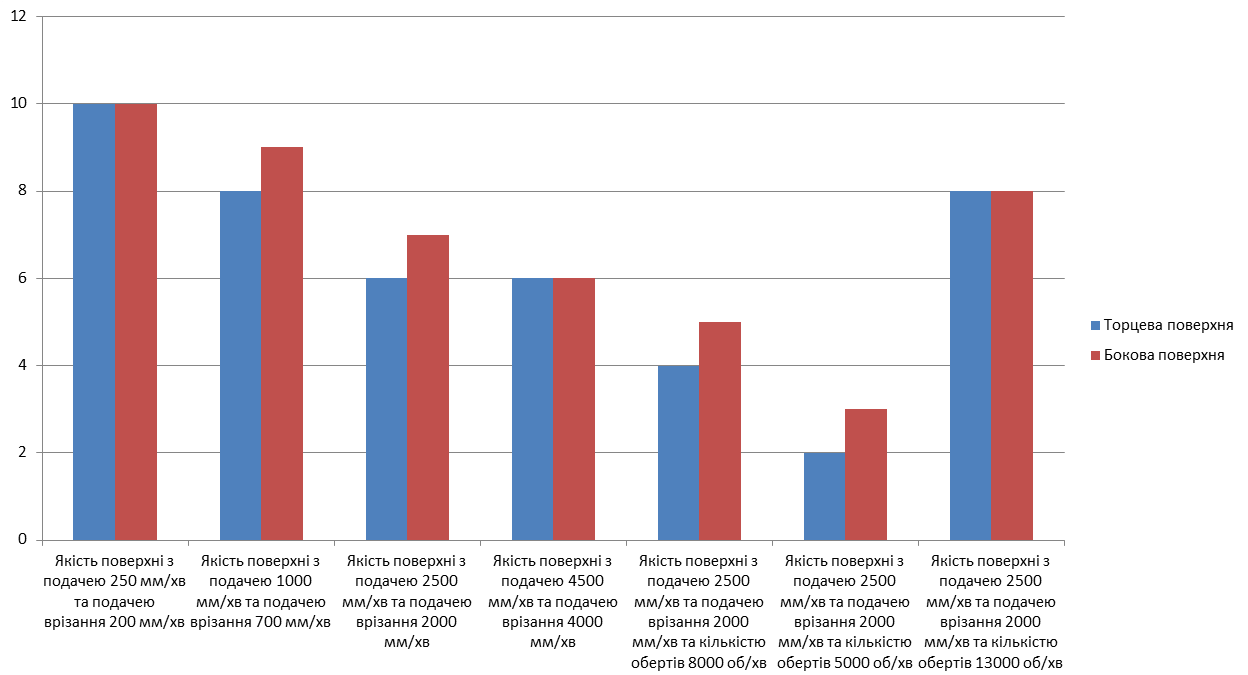


Рисунок 3.16 – Гістограма якості поверхні

За результатами всіх вище проведених дослідів з вибором подачі верстата, робимо графік залежності показників якості ($P_{як}$) від показника подачі ($S_{под}$)

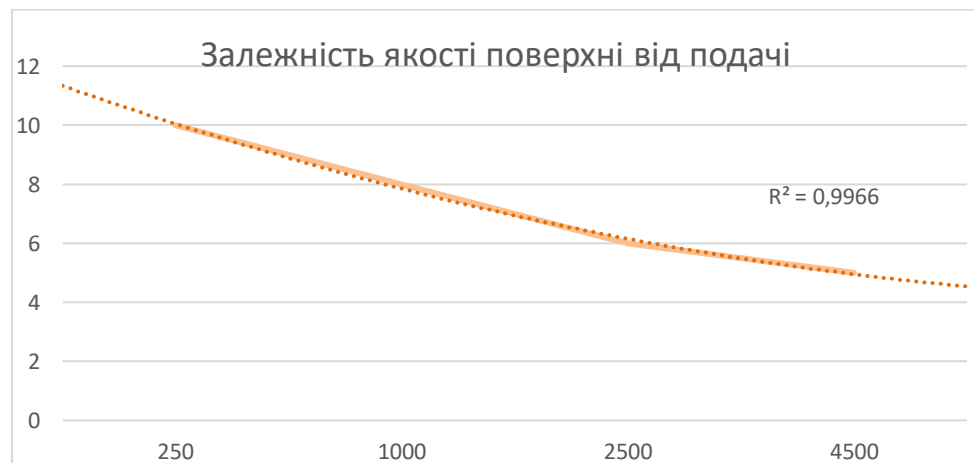


Рисунок 3.17 – Графік залежності якості від подачі.

Як ми можемо побачити із графіку вище, то бачимо залежність, яка виражається в тому, що при більшій подачі якість поверхні зменшується. Починаючи після подачі 2500 мм/хв. ця залежність стає все менш помітною.

Для побудови графіка залежності якості поверхні від швидкості різання, потрібно розрахувати швидкість за формулою:

$$V = \frac{\pi * D * n}{1000} \quad (3.1)$$

де: D – діаметр ріжучої фрези

n – частота обертання інструменту

$$V1 = \frac{\pi * 12 * 5000}{1000} = 188.5 \text{ м/хв.}$$

$$V2 = \frac{\pi * 12 * 8000}{1000} = 301,5 \text{ м/хв}$$

$$V3 = \frac{\pi * 12 * 13000}{1000} = 490 \text{ м/хв}$$

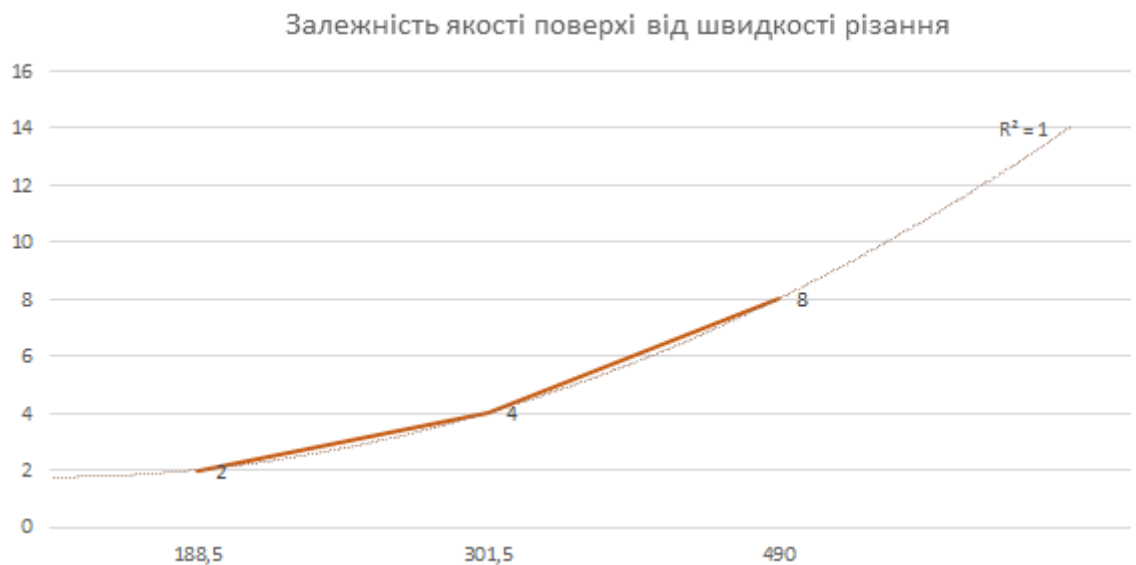


Рисунок 3.18 – Графік залежності якості від швидкості різання

Як ми можемо побачити із графіку вище, то бачимо залежність, яка виражається в тому, що при більшій швидкості різання якість поверхні збільшується.

Таблиця 3.2 оцінки якості поверхні при різних режимах різання

		Значення подачі мм/хв											
		100	250	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000
Значення обертів шпинделю об/хв	500	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1000	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2000	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	3000	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	4000	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2,5	2,5
	5000	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2,5	2
	6000	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	7000	6	5	5	4	4	4	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
	8000	6	6	6	5	5	5	4	4	3,5	3,5	3	3
	9000	7	7	7	6	5	5,5	4,5	4,5	4,5	4	4	4
	10000	9	8	8	7	6	6	5	5	5,5	5,5	4,5	4,5
	11000	10	10	9	8	7	6,5	6	6	5,5	5,5	5	4
	12000	10	10	9	8,5	8	7	7	6	6	6	5,5	4
	13000	10	10	9,5	9	9	8	8	7,5	7	6,5	6	5
	14000	10	10	10	9,5	9,5	9	9	8	8	7	6,5	6
	15000	10	10	10	10	10	10	10	9	9	8	7	6

3.5.2 Вибір глибини різання

Із дослідів вище можемо зробити висновок, що при обробці торцевої поверхні глибина різання не має суттєвий вплив на якість оброблюваної поверхні. Тому можна обирати максимальну глибину різання (до 50 мм.) не хвилюючись за якість поверхні.

При обробці бокової поверхні глибина різання має особливий вплив. Якщо оброблюється поверхня з певним кутом нахилу, глибина різання обирається в залежності від висоти допустимих гребінців. Якщо поверхня представляє собою строго вертикальну поверхню, тоді величину глибини різання потрібно обирати в залежності від необхідної якості поверхні. Від 1

до 10 мм за прохід, для отримання гарної якості поверхні (7-10 балів). Від 10 до 25 для отримання помірної якості поверхні (4-6 балів). Також при виборі глибини різання потрібно враховувати величину товщини стінки деталі, а також її жорсткість яка виражається в відношенні товщини до довжини стінки. Все це робиться для того, щоб мінімізувати вібрації деталі – чим більша вібрація тим більша вірогідність того, що деталь буде не в розмірі, а також з'являється вірогідність викидання деталі із заготовки.

3.6 Обробка гарячою струною

Для цієї обробки головними факторами режимів різання являється температура нагріву струни, а також швидкість її робочих та прискорених ходів. При обробці пінополістиролу гарячою струною майже неможливо визначити один раз та назавжди одні режими різання, бо нагрівання струни залежить від багатьох факторів (матеріал струни, діаметр, довжина, температура у приміщенні, наявність обвітрювання приміщення та відносна вологість). Тому немає сенсу прив'язуватися до величини струму або напруги на струні, головним показником буде її температура. Непрямим показником необхідної температури є кипіння пінополістиролу на струні (його димлення). Дуже важливо зловити цей рівень нагрівання, т.к. він являється оптимальним, що дозволяє якісно різати без обриву струни протягом місяців роботи верстата без її урвища. Перегрів струни буде призводити до її розтягування, втрати якості різання, обриву струни.

Для встановлення нагріву струни при першому запуску за день, а також у разі зміни довжини ріжучої нитки, переході на інший діаметр струни, або якщо під час роботи було зафіксовано нерівномірний рух, невідповідність розмірів необхідно:

- Виставити регулятор рівня нагрівання струни проти годинникової стрілки до межі для установки нагрівання струни "на мінімум".

- Натягнути ріжучу нитку. Робиться з одного кінця нитки петля, що само затягується, затягується на пружині каретки Y0, там фіксується за допомогою гвинта струмопідвідна клема. Другий кінець нитки вставляється в отвір на натяжному гвинті каретки Y1. Обертанням гвинта натягуємо нитку до необхідного ступеня натягу (орієнтовно щоб пружина не діставала 10мм до алюмінієвої) полиці підтримки пінопласту) і фіксуємо положення гвинта контргайкою.

- Увімкнути живлення блоку керування.

- На системі вибираємо пункт меню HEAT та натискаємо на ній кнопку джойстика (КД), після цього напис HEAT стане зеленого кольору.

- Підносячи шматок пінопласту до струни, повертаємо за годинниковою стрілкою регулятор рівня нагрівання струни до того моменту, поки почнеться оплавлення пінопласту.

- Залишаємо на струні крапельку розплавленого пінополістиролу та прибираємо пінопласт.

- Уважно і потроху додаємо нагрівання струни поворотом ручки регулятора по годинної стрілки до початку кипіння краплі пінополістиролу, яке буде супроводжуватися появою серпанку. Необхідний рівень нагрівання струни досягнуто.

- Натисканням КД напису HEAT відключаємо нагрівання струни (напис HEAT стане білого кольору). Нагрів струни виставлений. Під час роботи за програмою система сама включить нагрівання на початку програми та вимкне в кінці.

Для встановлення необхідної швидкості різання потрібно зробити наступне:

- встановити швидкість різу на мінімум
- запустити керуючу програму та уважно слідкувати за роботою нитки

- поступово збільшувати швидкість по 10 % від встановленої до того часу поки нитка не почне різати рівномірно без хвильових рухів
- оптимальною швидкістю різку є така коли простір розплавлення пінополістиролу коло нитки дорівнює приблизно 3 мм.

4 ПРИКЛАДИ ПРОГРАМНОЇ ОБРОБКИ

4.1 Вибір обладнання

Для надійної обробки пінополістиролу нам потрібно обрати два види верстатів. Це повинні бути вертикально фрезерний верстат с ЧПК для контурної обробки більш важких профілів моделей, а також верстат із гарячою струною для більш швидкої обробки простих за конфігурацією моделей.

1. ЧПК верстат для фрезерування спінених матеріалів ESF200x120x304D

Модель ESF200x120x30 4D призначена для фрезерування спінених матеріалів: пінопласту, пінополістиролу, ПВХ, а також твердіших матеріалів: дерево, МДФ, пластики. Верстат управляється від мікроконтрольної повноцінно 4-х координатної системи ЧПУ, яка не потребує наявності комп'ютера на робочому місці. [15].



Рисунок 4.1 – Фрезерний верстат з ЧПК ESF200x120x304

ESF200x120x304 4D відноситься до фрезерних верстатів з числовим програмним керуванням на базі крокового приводу. Верстат призначений для фрезерування спінених матеріалів: пінопласту, пінополістиролу екструдованого, ПВХ, дерева, МДФ, пластиків. Верстат має робочий простір 2000x1200x250мм, в режимі 4D здатний обробляти циліндр завдовжки 2000мм та діаметром 500мм. Як передачі ХУ використовується косозуба зубчаста рейка, по координаті Z - ШВП, по координаті А (поворотна вісь) - зубчасто-пасова передача. Верстат оснащений індуктивними кінцевими датчиками, які виконують функції визначення нуля верстата. Перенесення файлів здійснюється за допомогою Flash-накопичувача. У режимі роботи 3D верстат має робочий простір 2000x1200x250мм, в режимі 4D здатний обробляти циліндр завдовжки 2000мм та діаметром 500мм. Комплектується шпинделем з повітряним охолодженням потужністю 1,5 кВт. Стіл верстата – двосекційний для зручності доступу до поворотної осі.

Автоматичні режими роботи верстата:

3D: Режим служить для розкрою матеріалу та обробки рельєфу. У цьому режимі можна виконувати різання, гравіювання, обробку кишень, а також фрезерування тривимірних об'єктів - елементів фасадного декору, барельєфів, гравюр, елементів статуй.

4D: У цьому режимі можна виконувати повноцінне (з деякими обмеженнями) просторове фрезерування об'ємних тіл (фрагменти скульптури, рельєфні балясини, бази колон складної форми)

Специфіка моделі:

- Великий робочий простір по осі Z: 300мм.
- Тверда важка конструкція.
- Застосування автономної мікро контрольної системи керування на 4 координати.
- Застосування пульта дистанційного керування з маховиком.

Призначення моделі

- Виробництво будівельного декору складної форми, що неможливо зробити методом різання нагрітою струною
- Виробництво моделей для лиття за газифікованими моделями (ЛГМ) складної форми, з піднутреннями та криволінійними поверхнями
- Виробництво театральних та телевізійних декорацій
- Виробництво муляжів, внутрішньої та зовнішньої реклами
- Розкрій листових матеріалів
- Виробництво барельєфів із дерева.

При виробництві ЧПК верстата використовуються високоточні токарні деталі з кольорових сплавів та полімерів, деталі з нержавіючої та конструкційної сталі, вирізані на лазерному устаткуванні, якісна електроніка та порошкове фарбування. При складанні особлива увага приділяється якості монтажу та паяння, а також функціональному та естетичному боці. Завдяки цьому це обладнання має надійність, яка дозволяє при належному догляді експлуатувати його практично цілодобово.

Технічні характеристики:

- Тип приводу – крокові двигуни (ШД);
- Мінімальне програмоване переміщення – 0.0024мм;
- Точність позиціонування $\pm 0,1$;
- Максимальна швидкість позиціонування – 5000 мм/хв; Живлення - 220V/50Hz;
- Потужність - 3000Вт.
- Наявність кінцевих вимикачів по всіх лінійних осях;
- Габаритні розміри верстата: довжина 1600 мм; ширина 2700 мм; висота 1500мм;
- Розміри робочої зони $X=2000\text{мм}$, $Y=1200\text{мм}$, $Z=300\text{мм}$, поворотна вісь завдовжки 2000мм та діаметром до 500мм;
- Вага 350 кг.

Система керування:

Верстат комплектується автономною мікроконтролерною системою управління, що дозволяє повноцінно працювати по всіх 4-х координатах.

Система дозволяє:

- Гнучко налаштовувати динаміку верстата
- Вийжджати в нуль верстата за всіма координатами Використовувати пульт дистанційного керування для зручності здійснення прив'язок інструменту на відстані
- Виконувати ручне позиціонування у безперервному та покроковому режимах
- Переносити файли УП на Flash накопичувачі
- Система має надійність і стійкість до збоїв.
- Має розвинений графічний інтерфейс і зручність експлуатації.

2. Верстат для різання пінопласту з поворотним столом ESP120x110Ind

Верстат є двома двокоординатними системами, здатними позиціонуватися незалежно одна від одної. На час різання вони синхронізуються. Таке рішення, незважаючи на подорожчання конструкції за рахунок крокових двигунів і драйверів (4 замість 2 в порівнянні з традиційною двокоординатною системою), дозволило зробити верстат гнучким у плані налаштувань і зручним у плані розбирання, транспортування, складання. Крім того, став доступний режим незалежних осей, який неможливо реалізувати в двох-координатній системі.

Верстат працює у наступних автоматичних режимах:

Без поворотного столу тільки:

2D - різання контуру у площині XY.

Ind – різання контуру в площині XY, при цьому одна каретка відпрацьовує контур у координатній системі X0Y0, а інша – у X1Y1. Переміщення синхронізуються таким чином, щоб отримати ефект "незалежних осей".

З поворотним столом додатково:

Turn – різання двох контурів у площині XY (перший знизу-вгору, другий зверху вниз) з поворотом на певний кут між ними.

Spiral – різання двох контурів у площині XY одночасно з поворотом столу (перший знизу-вгору, другий зверху вниз) з поворотом на певний кут між ними. Таким чином досягається ефект скручування верхньої частини щодо нижньої частини на кут скручування.

Multi – Відпрацьовуються кілька різних файлів із різним кутом повороту столу між ними.

Специфіка моделі:

- Робочий простір: X=1100мм, Y=1100мм довжина струни до 2000мм оптимально для найпоширеніших пінопластових блоків 1000x500x2000мм та 1000x1000x2000мм.

- Легка, компактна модель, здатна з мінімальним розбиранням поміщатися в автомобілі компонування «універсал».

- Застосування зубчастих ременів, армованих полімерною ниткою.

Призначення моделі:

- Виробництво фасадного декору
- Виробництво оздоблювальних матеріалів
- Виробництво моделей для лиття (ЛВМ)
- Виробництво театральних та телевізійних декорацій
- Виробництво муляжів, внутрішньої та зовнішньої реклами
- Виробництво елементів утеплення (трубна шкаралупа, термоблоки).

Технічні характеристики:

- Два 2D позиціонери, що працюють у режимі лінійної інтерполяції X0Y0 та X1Y1;

- Тип приводу – крокові двигуни (ШД);
- Мінімальне програмоване переміщення – 0.0025мм;
- Точність позиціонування $\pm 0,1$;
- Максимальна швидкість позиціонування – 2000 мм/хв; Живлення - 220V/50Hz;

- Потужність - 860Вт.
- Траєкторія різки готується в будь-якому векторному редакторі (CorelDRAW, AutoCAD, Компас і т.д.), керуюча програма готується в ArtCAM та Rhino за допомогою постпроцесора, що йде в комплекті зі верстатом;
- Наявність кінцевих вимикачів X0Y0 і X1Y1;
- Габаритні розміри зрушеного верстата: довжина 1410 мм; ширина 900 мм; $Y=1330$ мм;
- Розміри робочої зони $X = 1100$ мм, $Y = 1100$ мм, довжина струни 500 ... 2000мм;
- Вага 80кг.



Рисунок 4.2 - Верстат для різання пінопласту з поворотним столом

Система керування:

Стандартно верстат комплектується автономною мікроконтролерною системою керування. За бажанням верстат можна укомплектувати іншими типами розроблених систем управління. [15].

Далі більш детально обговоримо систему керування цими двома верстатами:

Система керування ESC2.0 є компактним пристроєм, що розташовується в руках оператора верстата або закріплюється в спеціальній «лапі» на верстаті, і призначається як для автономного управління верстатом так і для управління верстатом в парі Комп'ютер - Мікроконтролер. Корпус системи виконаний з нержавіючої сталі методом лазерного різання, фарбований порошковими фарбами з подальшим спіканням. Система спрямована управління драйверами крокових двигунів, які працюють за принципом «напрямок, крок». Може підтримувати різні величини дроблення кроку та забезпечує максимальну частоту видачі імпульсів до 50кГц.

Ідеї, закладені у систему:

1. Автономність. Як і першому поколінні, система самодостатня і працює без комп'ютера. Файли керуючих програм (УП) переносяться як і раніше на карті пам'яті, але в цій системі було додано підтримку всіх актуальних на даний момент видів карток, різної швидкості, ємності та файлових систем FAT16, FAT32.

2. Інтерфейс оператора. У новій системі управління використовується TFT LCD на 3.5 дюйми замість монохромного 20-ти символного 4-рядкового LCD. Така діагональ хоч і не велика, але дозволяє розмістити необхідну інформацію, порівняно не дорога, та зменшує ризик ушкодження порівняно з великими діагоналями. Дозволяє виводити графічну інформацію, ніж ми і скористалися для виведення зовнішнього вигляду траєкторії інструменту. Замість кнопкової клавіатури, вся навігація по функціях системи виконується джойстиком, що має чотири похилі положення та одне натискання. Крім того, джойстик зручний для режиму безперервного позиціонування.

3. Функціональність. У новій системі управління був використаний мікроконтролер з великим обсягом внутрішньої пам'яті, що дозволило збільшити наповненість системи новими функціями, такими як: 1)

можливість використовувати на дисковому просторі картки пам'яті папок одного рівня вкладеності, 2) відсутність обмеження на кількість файлів УП, 3) добавка трьох нових режимів позиціонування, одного безперервного (поки нахилений джойстик) по ХУ і двох покрокових по Х0У0 і Х1У1; кадру. У комплексі з попереднім пунктом, це дозволяє зупинити в будь-якій точці програму, вимкнути верстат, і наступного дня продовжити відпрацювання з місця зупинки, 6) додано можливість графічного перегляду траєкторії інструменту, а також при аналізі УП прораховуються габарити та довжина контуру різання.

4. 4D. У новій системі додано 4-х координатну інтерполяцію для режиму IND. Тепер в одному кадрі УП можуть бути задані 4 координати, і вони будуть відпрацьовані як лінійне переміщення. У комплексі з пропонованою технологією 4-х координатного різання Rhino3D це дозволяє виконувати різання складних контурів.

5. Постпроцесор. Виконаний перехід на відображення координат в УП не в імпульсах, а в міліметрах. Це дозволяє використовувати один постпроцесор для всіх верстатів (корисно буде тим у кого більш ніж один наш верстат), і робить постпроцесор незалежним від калібрування верстата.

6. Конфігураційний файл. Тепер він зроблений відкритим і для його редагування не потрібна утиліта до верстата, редагування виконується у будь-якому текстовому редакторі. Крім того, у файл конфігурації винесені набори швидкостей і кроків, які згодом виводяться в меню системи управління. Це комфортно так як можна самостійно запровадити найбільш зручні значення.

7. Прискорені рухи. Додано аналіз прискорених переміщень, і тепер, якщо вони передбачені під час підготовки УП в ArtCAM, вони будуть виконані на максимальній швидкості, прописаній у системі керування.

8. Підключення до комп'ютера. Підключення до комп'ютера не стандартне. Зазвичай у парі комп'ютер - мікроконтролер (РС-МС) провідним пристроєм є РС. Він виконує аналіз УП, візуалізацію процесу роботи та видає

команди високого рівня на МС та приймає від нього різні реакції. А МС вже працюючи з точними проміжками часу та на високих частотах взаємодіє з електронікою приводу. І весь цей трафік протікає через з'єднання USB. USB з'єднання, у якого немає фіксації штекерів у гніздах, не здатне забезпечити безперебійний багатогодинний інтенсивний трафік. Тому було реалізовано підхід, що базується на таких положеннях:

1). Провідним пристроєм у всіх випадках роботи в парі (РС-МС) є система управління.

2). На етапі підготовки до різання вона "дозволяє" комп'ютеру передавати їй файли УП, файл конфігурації, давати команди на позиціонування та керування нагріванням струни.

3). У процесі роботи за програмою система управління читає файл УП з карти пам'яті, переданий раніше з комп'ютера. І шле команди на комп'ютер, які дозволяють візуалізувати процес роботи. Тобто USB з'єднання не навантажено інтенсивним трафіком і впливає надійність роботи верстата, т.к. служить лише індикації. І навіть якщо з якихось причин зі з'єднання буде збій, порушиться індикація, але не робота верстата з УП. Таким чином поєднали надійність автономної системи та зручність взаємодії дворівневої системи.

Переваги порівняно з комп'ютерним керуванням:

- Простий "жорсткий" алгоритм управління;
- Висока ступінь дроблення кроку ($1/128$ і більше), що впливає на дискретність роботи приводу, його точність, плавність роботи, відсутність вібрацій;
- Мобільний пульт дозволяє керувати різом у безпосередній близькості від струни;
- Компактність;
- Відсутність операційної системи та всіх пов'язаних з нею проблем.

Недоліки порівняно з комп'ютерним керуванням:

- Необхідність перенесення файлів на картку SD.

Специфіка автономної мікроконтролерною системи керування:

Незалежність верстата від комп'ютера, операційної системи, встановлених програм, вірусів, апаратної конфігурації і т.д. Можливість роботи системи з дробленням кроку до 1/256 кроку, що є поза межним для однорівневої комп'ютерної системи управління. Підвищена надійність та стійкість до збоїв. Може працювати без збоїв у 2 зміни. Обслуговування одним комп'ютером кількох верстатів.

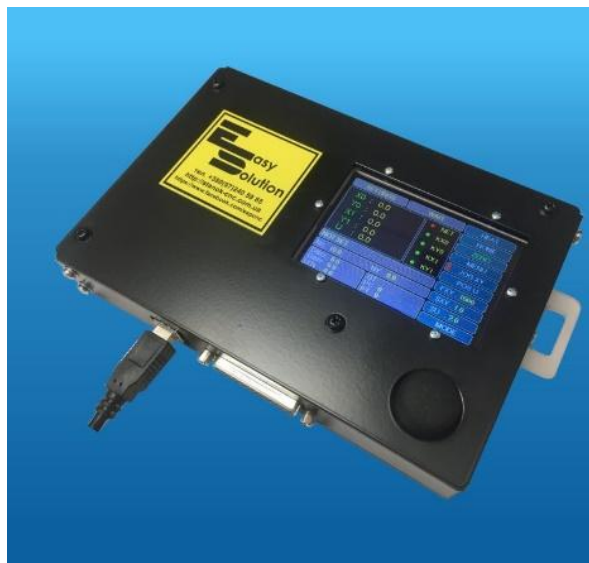


Рисунок 4..3 – Система керування ESC 2.0

Технічні характеристики:

- Кількість керованих координат -5шт.
- Кількість кінцевих вимикачів, що обслуговуються - 5шт.
- Пристрій введення зовнішньої інформації - картка пам'яті SD, відформатована у файлову систему FAT16, FAT32.
- Пристрій введення внутрішньої інформації - джойстик, який служить керувати верстатом у реальному режимі часу, завдання всіх необхідних роботи верстата параметрів.

- Пристрій індикації технологічних параметрів – TFT монітор з діагоналлю 3,5 дюйми та роздільною здатністю 480х320 пікселів.
- Кількість автоматичних режимів роботи – 5шт.
- Роз'єм для зв'язку з блоком керування верстата – DB25.
- Роз'єм для зв'язку з комп'ютером – USB.
- Вага 0,5 кг.

4.2 Створення програм для ЧПК.

Для того щоб створити керуючу програму на наші два обраних верстата з ЧПК потрібно виконати наступні етапи:

1. Отримання креслення деталі та його аналіз
2. Вибір способу обробки
3. Створення 3D моделі деталі
4. Розбивання деталі на секції обробки
5. Вибір необхідного інструменту
6. Вибір оптимальних режимів різання в залежності від необхідної точності та якості, а також від кількості необхідних виливок
7. Створення процесу обробки (задання контурів)
8. Переведення керуючої програми через пост процесор для кожного верстату окремо

Так як в нас використовуються два абсолютно різні верстати з різними принципами обробки, тому і підхід до створення керуючої програми буде абсолютно різним, далі ми більш детально розглянемо кожен із етапів.

1. Отримання креслення деталі та його аналіз

На етапі отримання креслення та його аналізу потрібно звернути увагу на складність конфігурації деталі, її клас точності, шорсткість поверхні,

Точність виготовлення деталі зумовлюється її службовим призначенням і визначається точністю розмірів і шорсткістю поверхонь. Розміри та їх квалітет надаються в таблиці 5.2.1. Поверхні та їхня шорсткість надаються в таблиці 5.2.2.

Таблиця 4.1 – Аналіз точності розмірів

Розмір	Квалітет
125	H9
$\varnothing 40^{+0,025}$	H7
$\varnothing 22 \pm 0,02$	H7
Всі інші розміри: H14; h14; $\frac{IT14}{2}$	

Таблиця 4.2 – Аналіз шорсткості поверхні

Поверхня	Шорсткість
$\varnothing 40$ H7	6.3 мкм
125 H9	12.5 мкм
Всі інші поверхні Ra 32 мкм	

2. Вибір способу обробки

Після того як вся інформація підлягла аналізу, ми переходимо до наступного етапу, а саме вибору способу обробки. Якщо деталь має досить великі припуски під подальшу обробку, точність розмірів не перевищує показник ± 0.1 мм, необхідна велика кількість цих деталей, а головне якщо вона має відносно не важку конфігурацію геометрії тоді ми обирає спосіб обробки моделі струнорізним верстатом. У всіх інших випадках обираємо спосіб обробки за допомогою вертикально фрезерного верстату з ЧПК.

Так як на цій моделі наявні деякі поверхні які неможливо обробити за один установ на фрезерному верстаті, а саме 4 бокових лиски та 4 бокових отвори. Тому доцільно буде зробити наступним чином:

Операція 005 – Фрезерування дисковою фрезою всю площу листа

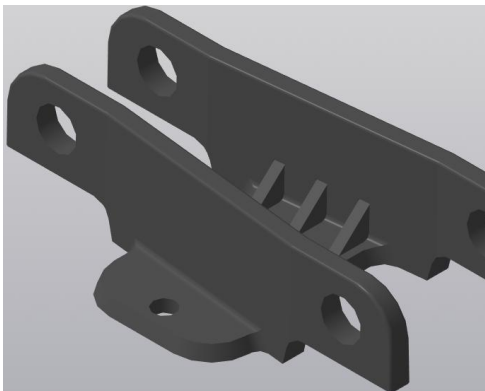
Операція 010 – Обробка гарячою ниткою бокових лисок

Операція 015 – Основне фрезерування майже всіх поверхонь

Операція 020 – Свердління бокових отворів $D=40\text{мм}$.

3. Створення 3D моделі деталі

Потім ми починаємо створювати 3D модель деталі. Для різних видів обробки це виконується у різних системах. Так для фрезерної обробки використовуємо такі програми як SolidWorks, POWER Shape. А ось для обробки струною не потрібно створювати повноцінну твердотільну 3D модель, тому що нам для подальшої роботи потрібні тільки торцеві та бокові профілі моделі. Для цієї задачі найкраще підійде програма Rhinoceros 7.



а



б

а – у SolidWorks; б – у Rhinoceros 7

Рисунок 4.5 – Приклади створених 3D моделей.

Цей етап теж має деякі свої особливості, так ось наприклад як врахування усадки металу після заливки. Рідкий метал після заливання його у форму застигає та охолоджується і відповідно зменшується на певний відсоток усадки. Для кожного металу цей відсоток відрізняється наприклад для кольорових металів він сягатиме 2 відсотки, для сталей 1,5 %, для чавуну 1%, а для нержавіючих сталей 2,5%. Цей відсоток є лиш приблизним і може

змінюватись в залежності від розмірів виливки а відповідно і кількості рідкого металу.

Для того щоб врахувати цей відсоток нам потрібно масштабувати нашу 3D модель для кожного відповідного значення, наприклад для 2% потрібно зробити масштабування в значенні 1.02 і тд. Для зовнішніх поверхонь масштабування буде відбуватися в більшу сторону, а для внутрішніх поверхонь в меншу. А ось для процесу обробки струною потрібно також врахувати її можливості розплавлення пінополістиролу коло себе. Із проведених дослідів можемо сказати що цей показник дорівнює приблизно 3 мм в діаметрі. Тому окрім масштабування нам потрібно збільшити зовнішній контур оброблюваної поверхні та зменшити внутрішній на певний розмір який розраховуємо за формулою:

$$Z_k = \frac{D_p}{2} + \frac{D_{ст.}}{2}$$

де: D_p – діаметр плавлення навколо себе. Залежить від температури зовнішнього простору, щільності пінополістиролу, величини подачі напруження на дріт

$D_{ст.}$ – діаметр ріжучої струни. Може бути від 0.25 до 0,5 мм.

4. Розбивання деталі на секції обробки

Наступним етапом є розбивання деталі на секції для подальшої обробки. Головним критерієм розбивки моделі є максимальні розміри заготовки та максимальна довжина робочої частини фрези. При фрезеруванні ми використовуємо в основному однакові листи пінополістиролу тому в нас буде обмеження за висотою заготовки 100 мм, а так за її шириною що дорівнює 550 мм. В нашому випадку розбивання 3D моделі робиться лише за висотою, так як першою операцією було фрезерування усього листа для мінімізації викривлення моделей після обробки. Після цієї операції висота листа дорівнює приблизно 95 мм, а загальна висота нашої деталі 104,5 мм.

Тому ми розбиваємо її на два елементи. Перший це основа висота якої буде 90 мм, другий це верхні частини висотою 15 мм.

Після цього для кожного із секторів потрібно додати ребра жорсткості (тільки для фрезерування). Це робиться для того щоб модель не вирвало із заготовки під час її відрізання. Розміри цих ребер задаються наступним чином: довжина дорівнює половині діаметру фрези яка буде робити фінішне відрізання, висота задається в залежності від розмірів сектору, чим більша модель тим меншими повинні бути ребра і навпаки, та поверхні на якій вони розташовані, так як потім видаляти їх потрібно буде ручним методом за допомогою ножа та наждаку. І фінішною задачею в цьому процесі стає максимально компактне розташування секторів на листі, для максимальної економії заготовки. Це відбувається з урахуванням способу та методу закріплення заготовки на столі. Бо якщо фреза на робочій подачі та з великим числом обертів в хвилину зіткнеться із вкрученим в заготовку саморізом, це може призвести до пошкодження робочого інструменту.

5. Вибір необхідного інструменту

Вибір робочого інструменту потрібно проводити в залежності від типу поверхні та способу її обробки. Основні інструменти та типи обробки де вони застосовуються описані вище. Інколи в залежності від моделі доводиться змінювати деякі із показників інструменту, такі як наприклад робочий діаметр. В нашому випадку обираємо ті ж самі інструменти які обирали в пункті 4,3.

6. Вибір режимів різання

Оптимальні режими різання обираємо за допомогою тих таблиць що ми зробили до цього. Обираючи режими різання потрібно проводити дивитися на креслення моделі та потім обирати між необхідною якістю оброблюваної поверхні та швидкістю обробки. Якщо поверхня має припуски під подальшу обробку, або має не великий показник шорсткості (більше ніж 12.5 мкм), тоді потрібно обирати максимально доступні режими для найбільшого прискорення обробки.

7. Створення процесу обробки (задання контурів)

Один із останніх етапів представляє собою створення керуючої програми на основі тих 3D моделей для фрезерного верстата, що ми створили до цього, а також на основі контурів для обробки струною. Створення керуючої програми для фрезерного верстата відбувається за допомогою програми POWERMILL. Створення траєкторій в цій програмі робиться за наступним чином:

1. Створення заготовки. Для цього задаємо габаритні розміри листа (зазвичай це $Y = 1160$, $X = 570$, $Z = 100$). Це робиться для того, щоб перевірити чи не виходить наша модель за контур заготовки, та відповідно чи можливо буде обробити її повністю.

2. Потім створюємо всі ріжучі інструменти які використовуються в даній операції.

3. Обираємо та задаємо безпечні висоти (5-10 мм від поверхні заготовки) для прискорених рухів інструменту.

4. Створення та регулювання необхідної траєкторії. Тут задаємо поверхню яку хочемо обробити, та необхідну траєкторію якою доцільно обробляти цю поверхню. Тут задаються такі параметри як: глибина різання (по висоті та по боковій поверхні фрези відповідно); величина припуску під подальшу обробку (якщо необхідно); вид зміщення (растр, спіраллю, vortex); види підводів, відводів та переходів (прямо, крок по Z, безпечно та ін.) обираються в залежності від виду обробки; Також обов'язково потрібно обрати необхідний інструмент, а також обрати (по можливості) розміщення точок по траєкторії за круговою інтерполяцією. Це робиться для того, щоб в траєкторії використовувалися G – коди (G02, G03), при їх використанні вібрації шпинделя зменшується, а якість та точність поверхні збільшується. А також необхідно обрати відповідні режими різання.

А ось для створення траєкторії руху гарячої нитки використовується зовсім інша програма Rhino 7. Для того, щоб створити в ній керуючу програму нам потрібно зробити наступне:

1) задати габарити заготовки, та розмістити в ній траєкторію тієї поверхні яка буде оброблятися. В нашому випадку це бокова поверхня лисок

2) задати вручну траєкторію заходу в заготовку та відповідно виходу із заготовки. Зазвичай задається приблизно за 10 мм від заготовки, це робиться для того щоб нитка встигла нагрітися до відповідної температури.

3) обрати та створити точку, яка в майбутньому буде нульовою точкою прив'язки. Це може бути будь яка точка у просторі (на заготовці або за нею), але зазвичай доцільніше всього обирати один із чотирьох кутів заготовки (при одиничному виробництві), або ж центр вісі (при серійному виробництві).

4) іноді, коли модель не потребує високих вимог до точності поверхні, або ж якщо має припуски під подальшу обробку (не менше 5 мм) ми можемо також обробити і отвори в моделі. Це робиться наступним чином – розриваємо контур в місці де ми робимо захід у отвір, та з'єднуємо основний контур із додатковим. Після цього повертаємо контури в яких створювався розрив, в їхнє вихідне положення. Після цього програма буде знати, що їй потрібно при підході до попередньої точки розриву, зайти та обробити відповідний отвір, та вийти через ту ж точку.

5) через вкладку Аналіз – напрям. Перевірити напрям руху нитки. При наведенні курсору на траєкторію вона буде показувати за яким напрямом буде рухатися нитка. Доцільніше всього обробляти за наступним чином: зліва – направо; зверху – вниз; по годинниковій стрілці.

6) викликаємо командою плагін ESCommand. Обираємо в ньому необхідний режим роботи верстата, в нашому випадку це режим 2D. Задаємо контур який створили до цього, та нуль деталі. Ставимо помітку на кнопці "показати траєкторію різки" та передивляємося чи все ми зробили вірно. Якщо так, тоді обчислюємо та зберігаємо УП.

8. Приклади керуючих програм

Для фрезерування на верстаті використовуються наступний тип УП:

%
 N10 G40 G90 G21 G17 G0 X0 Y0
 Z200.
 N40 S11000 M03
 N60 G0 X6.011
 N70 Z110.
 N80 X59.411 Y53.899
 N90 Z105.
 N100 G1 F2500.0 Z50.
 N110 F3000.0 X58.756 Y53.901
 N120 X58.698 Y53.948
 N130 X58.732 Y54.014
 N140 G3 G17 X59.993 Y54.655 I-
 4.86 J11.132
 N150 G2 X60.147 Y54.577 I.051 J-
 .09
 N160 X60.2 Y53.996 I-1.331 J-.415
 N170 X60.066 Y53.898 I-.134 J.043
 N180 G1 X59.411 Y53.899
 N190 G0 Z110.
 N200 X-11.493 Y53.953
 N210 Z105.
 N220 G1 F2500.0 Z50.
 N230 F3000.0 X-11.511 Y53.911
 N240 X-11.553 Y53.893
 N250 X-12.866 Y53.894
 N260 G2 X-13. Y53.992 I0 J.141
 N270 X-12.947 Y54.575 I1.391 J.166
 N280 X-12.793 Y54.653 I.102 J-.012
 N290 G3 X-11.528 Y54.007 I6.207
 J10.593

N300 G1 X-11.503 Y53.985
 N310 X-11.493 Y53.953
 N320 G0 Z110.
 N330 X23.511 Y16.787
 N340 Z105.
 N350 G1 F2500.0 Z50.
 N360 G2 X23.701 Y16.776 I.09 J-
 .095 F3000.0
 N370 X24.107 Y16.282 I-1.528 J-
 1.671
 N380 X24.104 Y16.048 I-.255 J-.114
 N2350 X-63.672 Y-66.988 I-.303
 J.518
 N2360 G3 X-67.97 Y-66.712 I-4.439
 J-35.486
 N2370 G2 X-81.47 Y-63.363 I2.311
 J38.197
 N2380 X-98.951 Y-45.147 I14.568
 J31.476
 N2390 X-101.749 Y-33.147 I34.634
 J14.402
 N2400 X-101.865 Y-28.647 I49.09
 J3.518
 N2410 G1 X-101.87 Y29.853
 N2420 G2 X-101.644 Y34.353
 I55.166 J-.514
 N2430 X-100.992 Y38.601 I35.547 J-
 3.276
 N2440 G0 Z110.
 N2450 M02

Як ми можемо побачити тут використовується класична мова програмування CNC, тобто використовуються G та M коди. Зберігаються такі УП в форматі TXT.

Для обробки гарячою ниткою використовується наступний тип УП:

R -10.00 9.55	W 37.31 179.23
W -10.00 9.55	W 38.21 179.71
W 39.00 9.55	W 39.12 180.16
W 39.00 19.11	W 40.06 180.57
W 6.34 19.11	W 41.01 180.94
W 6.00 19.09	W 41.97 181.28
W 5.67 19.11	W 42.95 181.58
W 5.25 19.16	W 43.93 181.84
W 4.84 19.25	W 44.93 182.05
W 4.44 19.37	W 45.94 182.23
W 4.06 19.54	W 46.95 182.37
W 3.69 19.74	W 47.96 182.47
W 3.34 19.97	W 48.98 182.54
.....	W 50.00 182.56
W 33.14 176.31	W 50.00 210.00
W 33.92 176.96	R 50.00 210.00
W 34.73 177.58	R 0.00 0.00
W 35.57 178.16	
W 36.43 178.71	

Як ми можемо побачити УП для нитки досить сильно відрізняється від УП для фрезерування. Тут повністю відсутні G та M коди, а також додаються літери R та W. Літера R (Rapid) – означає прискорений рух, а літера W (Working) – означає робочий рух нитки. Перші числа до пробілу відповідають горизонтальній координаті X, другі числа відповідають вертикальній координаті Y.

ВИСНОВКИ

В результаті проведеної роботи була розрахована програмна обробка моделей для лиття з пінополістиролу на верстатах з ЧПК та оптимізовано умови їх обробки.

А саме було виконано: вибір основних матеріалів які використовуються в створенні моделей для лиття, та було проведено аналіз їх оброблюваності в залежності від різноманітних факторів; вибір основних типів фрез та їх матеріалів в залежності від різних видів обробки поверхні; проведено досліді із різними режимами різання для визначення найбільш оптимального їх значення у співвідношенні швидкості обробки до якості оброблюваної поверхні. Обрано та аргументовано вибір обладнання для роботи із пінополістиролом.

Як приклад розроблено керуюча програма для виготовлення деталі "Ланка Ланцюга". Описано кожен із етапів розробки керуючої програми та всі додаткові фактори які відрізняють цей процес від аналогічного процесу у роботі з металом.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Краткий справочник по машиностроительным материалам [Текст]: / под. ред. инж. В. М. Раскатова - М.: Машиностроение, 1963. - 440с.
2. Справочник технолога - машиностроителя [Текст]: / под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. - Изд. 4-е, перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1986. - 1 т.: ил.
3. [Електронний ресурс] <https://on-v.com.ua/novosti/tehnologii-i-nauka/lityo-po-gazificiruemym-modelyam-lost-foam/>
4. [Електронний ресурс] <https://studref.com/591929/tehnika>
5. Уткин Н. И. Металлургия цветных металлов : учебник для техникумов / Н. И. Уткин. – М. : Металлургия, 1985. 440 с.
6. [Електронний ресурс] <https://teplopro.com.ua/ua/blog/penopolistiroli-ili-penoplast-skhodstva-i-razlichiya>
7. [Електронний ресурс] <https://ukrstroyka.com.ua/ua/p2157/>
8. Кукляк М. Л. Металорізальні інструменти. Проектування /М. Л. Кукляк, І. С. Афтаназів, І. І. Юрчишин. – Львів : Львівська політехніка, 2003. – 556 с.
9. Лашнев С. И. Геометрическая теория формирования поверхностей режущими инструментами : монография / С. И. Лашнев, А. Н. Боровой, С. Г. Емельянов. – Курск : Курский государственный технический университет, 1997. – 391 с.
10. Климов В. И. Справочник инструментальщика-конструктора В. И. Климов и др. – Москва ; Свердловск : Машгиз, 1958. – 608 с
11. Сахаров Г. Н. Металлорежущие инструменты / Г. Н. Сахаров, Б. Арбузов, Ю. Л. Боровой и др. – Москва : Машиностроение, 1989. – 385 с.
12. Швець С. В. Металорізальні інструменти / С. В. Швець. – Суми СумДУ, 2007. – 185 с

13. Каталог «Вращающиеся инструменты» SandvikCoromant 2015. - 1499с.
14. Каталог Tool holders for CNC lathes. EWS Tool Technologies 2011 - 403с.
15. [Электронный ресурс] <https://stanok-cnc.com.ua/>