

ЯКОВЕНКО І.Е., ПЕРМЯКОВ О.А., ІЛЬІН Д.О., БАСОВА Є.В, ГОРБУЛИК В.І

ДО ПРОБЛЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ ДІЛЬНИЦІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ З ПОЛІСТИРОЛУ

Анотація. У роботі запропоновано укрупнену модель аналізу промислового виробництва з метою оцінки можливості та доцільності автоматизації існуючого виробничого процесу. Виявлено основні параметри об'єктів обробки, що впливають на ухвалення рішення щодо автоматизації процесу його виготовлення. На підставі аналізу конфігурації, геометричних параметрів, особливостей розташування складнопрофільних поверхонь деталей з полістиролу, а також аналізу їх технологічності зроблено висновок про можливість та доцільність автоматизації ділянки механічної обробки таких деталей. Особливу увагу було приділено аналізу існуючих технологічних процесів обробки типових деталей. В результаті аналізу було сформовано набір вимог до структури та параметрів нової автоматизованої технологічної системи, а також запропоновано новий технологічний процес обробки комплексу деталей. На підставі сформульованих вимог було обрано програмний тип та машинний рівень автоматизації технологічної системи, базовим елементом структури якого став робот-маніпулятор. Для обраного типу технологічної системи розроблено новий комплексний технологічний процес обробки комплексу деталей, який передбачає незначні зміни у конструкції деяких деталей, що не впливає на їхнє функціональне призначення. Для реалізації запропонованого технологічного процесу та сформульованих вимог до обладнання обрано конкретні основні елементи системи - робот-маніпулятор та силовий агрегат, а також ріжучий інструмент, який дозволяє проводити обробку практично всіх деталей комплексу без заміни в процесі роботи. Це дозволило запропонувати варіант автоматизованого робочого місця, оснащений двома робочими поворотними столами для встановлення заготовок. Запропонований варіант автоматизованої технологічної системи та її реалізація дозволили значно скоротити допоміжний час виконання механічних операцій, звільнити робітників високої кваліфікації та знизити собівартість виготовлення деталей.

YAKOVENKO I., PERMYAKOV O., ILIN D., BASOVA Ye., GORBULIK V.

ON THE ISSUE OF AUTOMATION OF THE SECTION OF MECHANICAL PROCESSING OF POLYSTYRENE PARTS

Abstract. The paper proposes a consolidated model of the analysis of industrial production in order to assess the possibility and expediency of automation of the existing production process. The main parameters of the processing objects, which affect the decision-making regarding the automation of the process of its manufacture, are revealed. Based on the analysis of the configuration, geometric parameters, features of the location of the complex profile surfaces of polystyrene parts, as well as the analysis of their manufacturability, a conclusion was made about the possibility and expediency of automating the area of mechanical processing of such parts. Special attention was paid to the analysis of existing technological processes of processing typical parts. As a result of the analysis, a set of requirements for the structure and parameters of the new automated technological system was formed, as well as a new technological process for processing a set of parts was proposed. On the basis of the formulated requirements, the software type and machine level of automation of the technological system were chosen, the basic element of which was the manipulator robot. For the selected type of technological system, a new complex technological process of processing a set of parts has been developed, which involves minor changes in the design of some parts, which does not affect their functional purpose. For the implementation of the proposed technological process and the formed requirements for the equipment, specific main elements of the system were chosen - a robot-manipulator and a power unit, as well as a cutting tool, which allows processing of almost all parts of the set without replacement during the work. This made it possible to offer an option of an automated workplace, equipped with two working rotary tables for setting workpieces. The proposed version of the automated technological system and its implementation made it possible to significantly reduce the auxiliary time of mechanical operations, release highly qualified workers and reduce the cost of manufacturing parts.

Вступ. Наразі основним напрямком розвитку машинобудівної промисловості є широке впровадження автоматизації технологічних процесів, зокрема, комплексної автоматизації робочих місць та виробництва загалом. Цьому сприяють сучасні наукові досягнення у галузі мехатроніки, розвитку обчислювальних комплексів та інтелектуальних систем, концепції ІНДУСТРІЯ 4.0. При впровадженні механізації та автоматизації на заводах основна увага приділяється електроніці, автоматизації контролю деталей та ширшому використанню верстатів з програмним управлінням, що сприяє виробництву якіснішої продукції, зниженню її собівартості, а також підвищенню продуктивності праці. На сучасному етапі розвитку автоматизованих систем управління технологічними процесами все більшої актуальності набуває використання в процесі виробництва роботизованих систем з числовим програмним управлінням, які дозволяють прискорити процес виготовлення деталей, зробити його більш точним та зручним. Тому технологічні процеси, які використовуються працівниками високої кваліфікації з ручним інструментом, необхідно змінювати на більш ефективні автоматизовані процеси з використанням сучасних роботизованих систем.

Такий підхід, за попередніми оцінками, має значно скоротити час виконання операцій, а також звільнити достатньо кваліфікованих працівників для вирішення інших завдань виробництва.

Мета дослідження. Виявити та проаналізувати особливості обробки складнопрофільних поверхонь різних деталей із полістиролу, можливості автоматизації процесу механічної обробки цих деталей та призначення ефективних засобів реалізації цього процесу.

Поставлена мета конкретизується у низці завдань:

1. Охарактеризувати та проаналізувати технічні характеристики конструкції складнопрофільних деталей, що підлягають механічній обробці.
2. Проаналізувати існуючі технологічні процеси, що застосовуються для обробки цих деталей.
3. Оцінити можливість автоматизації процесу обробки та вибрати найбільш ефективний варіант із можливих.
4. Розробити новий технологічний процес для автоматизованого оброблення комплексу деталей.
5. Сформулювати набір вимог до проєктованої автоматизованої технологічної системи та запропонувати обладнання, інструмент та технологічне оснащення для її реалізації.

Аналіз основних досягнень та літератури. У технічній літературі автоматизація сприймається як комплекс заходів для впровадження машин, механізмів, математичних моделей, програмного забезпечення у виробничі процеси.

Результат цих заходів – виконання значної частини технологічних операцій не людьми, а спеціальним устаткуванням [1], що дозволяє: скоротити час виготовлення, упаковки, сортування продукції; знизити вартість людської праці; швидше реалізувати складні технічні завдання та ін. У роботах [1,2] розглядається загальний підхід до проблем автоматизації виробничих процесів та методів вирішення цих проблем на підставі концентрації операцій, автоматизації процесів завантаження-вивантаження деталі, управління безпосередньо процесом обробки. Однак рекомендації мають досить загальний характер і відносяться в основному до масового та багатосерійного машинобудівного виробництва, яке побудовано в основному на використанні агрегатних верстатів, автоматичних ліній та робототехнічних комплексів на базі токарних та багатофункціональних верстатів механічної обробки.

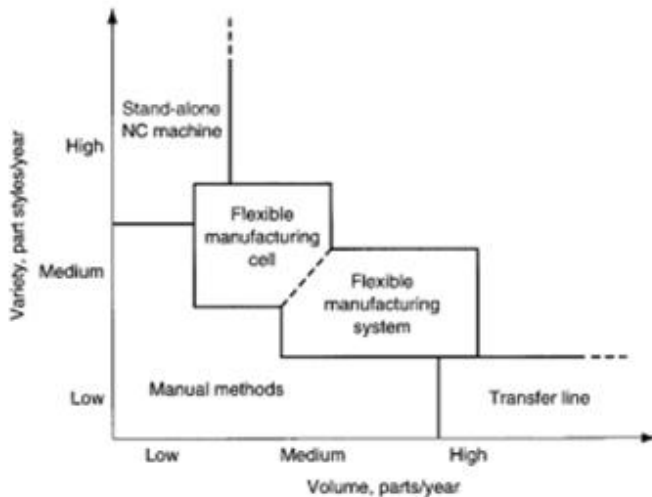


Рис. 1 – Типи автоматизації виробничих процесів[3]

Детальний аналіз типів автоматизації виробничих процесів наведено у фундаментальних роботах [3,4]. Процеси автоматизації промислового виробництва розділені на три основних типи: програмна автоматизація; гнучка автоматизація; жорстка автоматизація, які пов’язані з варіативністю і типами виробництва (рис.1).

Мається на увазі, що в індивідуальному виробництві на універсальному обладнанні автоматизація недоцільна. Також в роботах розглянуто приклади використання кожного типу у ретроспективі та сучасних виробничих умовах під впливом концепції «Індустрія 4.0» та досягнень мехатроніки. Особливу увагу приділено питанням роботизації технологічних процесів і, зокрема, процесам, коли робот маніпулює інструментом під час виконання обробки. Окремо розглянуто питання впливу автоматизації на людський фактор у виробничому процесі (зміна структури

робочих місць, кваліфікації персоналу, чисельності працюючих тощо). Пропонується розділити автоматизацію виробничих процесів п’ять рівнів: від автоматизації пристрою (автоматизація окремих виконавчих механізмів, контролерів, датчиків машини тощо) через рівні автоматизації машини – робочого місця (дільниці) – заводу до підприємства у цілому (рис.2).

У тій чи іншій мірі, питання та рекомендації, викладені у цих роботах, пов’язані практично з усіма галузями промисловості від заготівельного та хімічного виробництва до автомобільної та аерокосмічної промисловості, а також охороною здоров’я, сферою послуг, торгівлею та мають узагальнений характер, який відображає тенденції автоматизації сучасного суспільства.

У роботах [5, 6, 7] розглянуто цілі та загальні принципи автоматизації виробничих процесів. Основна роль процесі автоматизації відводиться технологічним процесам виготовлення деталей у машинобудуванні і контролю над ходом виконання технологічного процесу, причому охоплюється весь цикл виготовлення: обробка- контроль – транспортування. Однак, вплив конструктивних особливостей об’єктів обробки розглядається на рівні проектування технології та не зачіпає безпосередньо процес аналізу можливості та доцільності автоматизації виробничого процесу. Аналогічний підхід викладено у роботі [8], де основний акцент робиться на автоматизовані системи управління технологічними процесами, які представлені як складні системи та характеризуються наявністю елементів загальної спрямованості, системним характером реалізації алгоритмів обміну та обробки інформації, а також великою кількістю функціональних підсистем. Даний підхід можна ефективно використовувати на стадії технологічної підготовки повного циклу автоматизованого виробництва, але практично дуже складно застосувати його в умовах дрібносерійного неритмічного виробництва.

У роботі [9] пропонується методика вирішення прикладних завдань для підготовки технологічних процесів механічної обробки складнопрофільних поверхонь різного типу на верстатах з числовим програмним



Рис.2 – Рівні автоматизації

управлінням, які актуальні при обробці деталей профільних з'єднань з високою точністю. Однак така методика не зовсім може бути застосовна при проектуванні автоматизованих технологічних систем більш широкого профілю (не обов'язково обробка на верстатах з ЧПУ) і не враховує властивостей полістиролу.

У роботах [10, 11] розглянуто процес структурно-параметричного синтезу автоматизованих систем механообробки з жорсткою схемою виконання технологічного процесу (агрегатні верстати та автоматичні лінії), що не зовсім відповідає можливості використання цього підходу для дрібносерійного виробництва габаритних деталей.

У статтях [12,13] розглядається необхідність створення автономної моделі розумної фабрики виходячи з принципів Індустрії 4.0. Ця модель представляє автономну виробничу систему, що об'єднує в одне ціле всі складові виробництва, такі як машини, вантажно-розвантажувальні роботи та обладнання, склади тощо, а також людські ресурси та інформаційні потоки. Виробнича система не керується централізовано, але кожен агрегат має свою власну систему управління та спілкується з іншими за принципом IoT. Запропонована модель носить укрупнений характер та описує вже готові технічні рішення, без розшифрування факторів, які до цих рішень призвели.

У статті [14] висвітлюється перспектива використання цифрової інтеграції інформації про життєвий цикл товару. Особливу увагу було приділено визначенню ролі цифрових 3D моделей. Запропоноване рішення може підвищити ефективність ланцюга поставок та планування за рахунок постійного надання інформації про кожен етап життєвого циклу продукту. Однак, це дослідження стосується в основному автоматизації підприємства у цілому, та не розглядає можливість та доцільність автоматизацій на рівні дільниці.

Розширення світового попиту на деталі з пластмас та підвищення їх естетичних та функціональних властивостей за рахунок механічної обробки розглянуто у звіті [15].

Питання особливостей механічної обробки деталей із пластмас і, зокрема, з полістиролу розглянуті у роботах [16,17]. У цих роботах проаналізовано фізику процесів механічної обробки пластмас та надано рекомендації щодо конструкцій різального інструменту та параметрів процесу різання такого матеріалу.

Матеріали дослідження.

Як зазначалося вище, автоматизація промислового механообробного виробництва може виконуватися за кількома напрямками від створення спеціального обладнання з жорстким кінематичним зв'язком (типу агрегатних верстатів) до розробки робото-технічних комплексів на базі багатофункціональних верстатів з ЧПУ, оснащених роботами, або на базі тільки роботів маніпуляторів. У дрібносерійному виробництві необхідно знаходити компроміс між гнучкістю та продуктивністю обладнання з урахуванням спрямованості та характеристиками об'єктів обробки.

Автори пропонують розглядати процес проектування автоматизованих ділянок серійного виробництва з урахуванням не тільки технологічних процесів виготовлення деталей, а й факторів, які суттєво впливають на структуру цих технологічних процесів та, зрештою, на можливість та способи автоматизації виробництва. До таких факторів безумовно належать різні характеристики об'єкта обробки, такі як: серійність випуску, технологічність (матеріал деталі та його характеристики з погляду оброблюваності, габарити деталі, форма та геометричні параметри оброблюваних поверхонь, їх розташування та ін.). Причому всі ці показники необхідно розглядати в комплексі, з одного боку для формування набору вимог, які повинна забезпечувати створювана автоматизована технологічна система, а з іншого, як систему обмежень при прийнятті тих чи інших технічних рішень автоматизації виробництва. Ці вимоги та обмеження дозволяють скоротити кількість варіантів, що розглядаються, в процесі синтезу компонувальних рішень автоматизованої технологічної системи, а також при виборі або проектуванні основного обладнання та засобів технологічного оснащення.

Процес вибору методу автоматизації та підбору (проектування за потреби) обладнання та технологічної оснастки для його реалізації можна представити у вигляді кількох етапів:

1. Аналіз існуючого виробничого процесу на підприємстві чи процесу, прийнятого як базовий під час створення нового виробництва: серійність виробництва; розміри партій деталей; періодичність замовлень; прогнозований життєвий цикл об'єктів обробки; інфраструктура підприємства тощо.
2. Аналіз об'єкта обробки: матеріал та його фізико-механічні властивості; габаритні розміри; геометричні параметри формованих поверхонь; технологічність виготовлення деталей; вимоги до якості, ергономіки, естетики деталей тощо.
3. Аналіз існуючого технологічного процесу або проектування нового маршрутного технологічного процесу з урахуванням проведеного на другому етапі аналізу об'єктів обробки.
4. Формування вимог та системи обмежень до проєктованої системи автоматизації ділянки (робочого місця) виробництва
5. Синтез варіантів автоматизованої технологічної системи, які здатні забезпечити сформовані вимоги та вписатись у задані обмеження.
6. Функціонально вартісний аналіз запропонованих варіантів та вибір найбільш ефективного з урахуванням можливостей підприємства, термінів реалізації, залучення інвесторів.

Як об'єкт дослідження за запропонованою методикою нами було обрано ділянку серійного виробництва з механічної обробки деталей різної конфігурації з полістиролу.

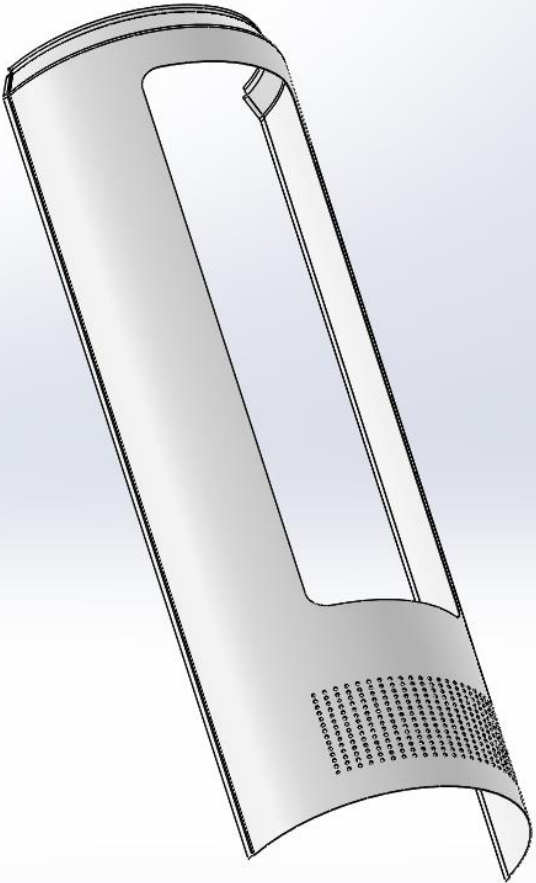
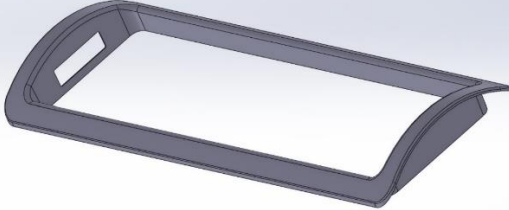
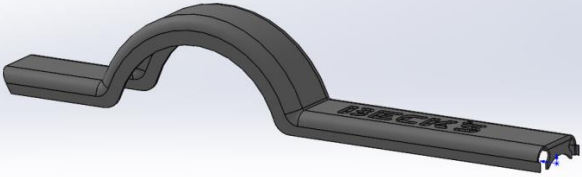
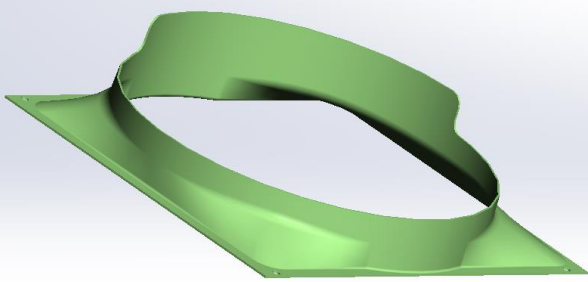
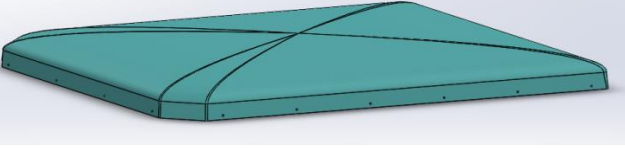
Мета даного дослідження полягала в аналізі можливості та доцільності автоматизації виробничої ділянки, розробки компоувальної схеми автоматизованої технологічної системи, якщо це можливо і доцільно, та способів її реалізації (вибір/проекування обладнання, інструменту, технологічного оснащення).

Основним напрямом діяльності підприємства, для якого ми виконували дослідження, є виготовлення на замовлення деталей із різних пластмас (формування з подальшою механічною обробкою).

На ділянці, що розглядається, в даний час обробляються різні деталі (об'єкти обробки) з пластмас (в основному полістирол), характерні представники яких представлені в таблиці 1.

Аналіз ринку виробів дозволив зробити висновок про потенційне зростання замовлень через дедалі поширеного застосування виробів із пластмаси [14] під час виготовлення пристроїв, машин і механізмів, що свідчить про доцільність автоматизації виробництва и підвищення його ефективності.

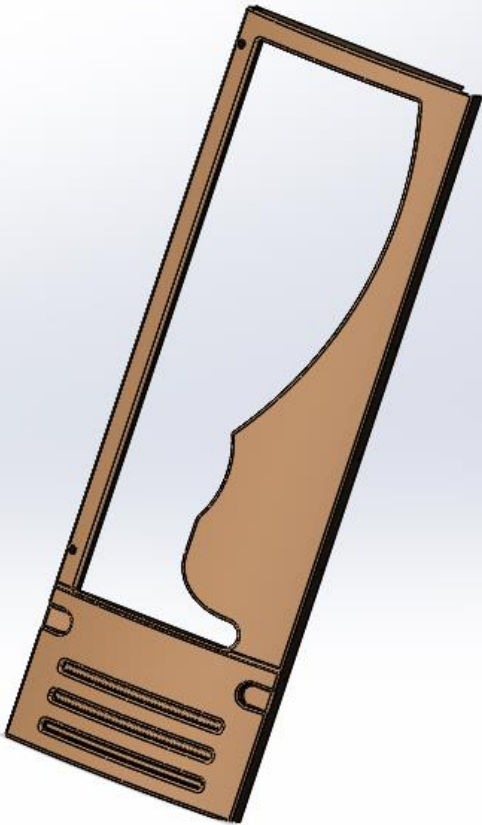
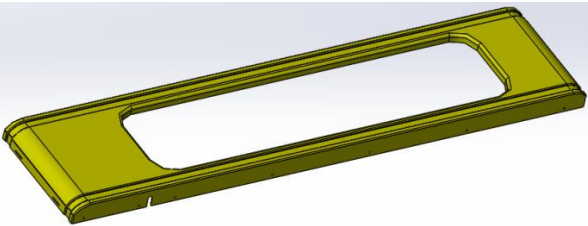
Таблиця 1 – Характерні представники деталей, які оброблюються на ділянці

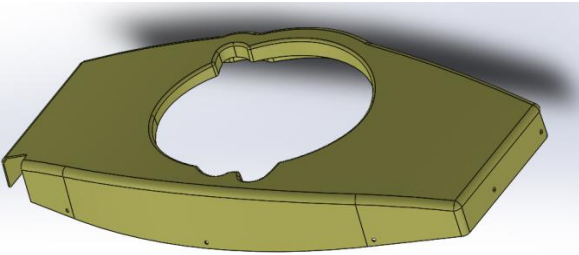
Об'єкт обробки та його характеристики	Об'єкт обробки та його характеристики
 <p>Панель передня та задня* Число сторін обробки – 4+ Габарити 2007x707x345 Параметри обробки: внутрішній контур вікна, зовнішній контур, 320 відп. $\phi 8$ (отвори розташовані рядами по 16 шт з кутовим кроком 5^0 діапазон розташування отворів 90^0), обробка напусків * Задня панель без вікна Товщина матеріалу 3мм</p>	 <p>Накладка Число сторін обробки – 4 Габарити 1475x498x170 Параметри обробки: зовнішній контур, верхній контур вікна, контур основи, вікно для системи керування 170x50 (перехідний радіус R 5), 12 отв. $\phi 7$ з двох сторін Товщина матеріалу 3мм</p>
 <p>Корпус Габарити: 543x90x60</p>	 <p>Ухил Число сторін обробки – 3 Габарити 533x470x115 Параметри обробки: зовнішній контур по периметру, контур по циліндру (перехідний радіус R 15), 4 отв. $\phi 10$ Товщина матеріалу 2,5мм</p>  <p>Кришка Габарити 1177x938x100 Число сторін обробки - 3</p>

<p>Число сторін обробки: - 2 Параметри обробки: внутрішній контур із двох сторін Товщина матеріалу 2мм</p>	<p>Параметри обробки: внутрішній контур; 15 отв. $\phi 4,5$мм Товщина матеріалу 3мм</p>
--	---

Продовження таблиці 1

 <p>Кришка панелі Габарити: 235x100x34 Число сторін обробки – 4 Параметри обробки: зовнішній контур, вікно 71x30, вікно 22x30, вікно 22x30 (скрізь радіус переходу R2), 4 отв. $\phi 7$, одинотв. $\Phi 5$ Товщина матеріалу 1,8 мм</p>	 <p>Логотипи лівий та правий Габарити: 406x97x36 Число сторін обробки – 4 Параметри обробки: зовнішній контур, внутрішній контур, внутрішній контур вікна 10x23, торцева поверхня вікна 15x27 Товщина матеріалу 2мм</p>
---	--

 <p>Облицювання Габарити 1748x593x95 Число сторін обробки -5 Параметри обробки: зовнішній контур, внутрішній контур, 2 отв. $\phi 20$, 18 отв. $\phi 3$ з 3 фасками $\phi 6$ Товщина матеріалу 4мм</p>	 <p>Панель-кришка Габарити 1960x464x43 Число сторін обробки -4 Параметри обробки: зовнішній контур, внутрішній контур, 2 глухих паза 4x40 (R2), напіввідкритий паз 34x16 (R 8) Товщина матеріалу 4мм</p>
--	--

<p><i>Примітки:</i></p>	 <p>Панель верхня Габарити: 683x357x90 Число сторін обробки – 5 Параметри обробки: зовнішній контур, внутрішній контур складного профілю, 3 отв. $\phi 5$, 3 отв. $\phi 3$ з 3 фасками $\phi 6$, бічний виріз 43x46 (радіус переходу R2) Товщина матеріалу 4мм</p>
-------------------------	--

1. Усі розміри виконуються за 14 квалітетом
2. На оброблених поверхнях сколи, задирки не допускаються

Подані в таблиці 1 типові представники об'єктів обробки мають ряд характерних ознак, які дозволяють сформулювати вимоги до автоматизованої технологічної системи, що проектується. Матеріал деталей (при товщині від 1,5мм до 4,0мм) добре обробляється без сколів та задирок на високих швидкостях різання (рекомендовано 12000-24000об/хв) та подачі інструменту (рекомендовано 3-6м/хв). Форма, розміри та відносно невисока точність оброблюваних поверхонь мають на увазі використання лезового горизонтального інструменту (свердла, фрези).

Габаритні розміри деталей, що обробляються, висувають вимогу забезпечити зону обробки в горизонтальній площині більше 2100x800мм і висотою ходу інструменту у вертикальній площині більше 400мм. З погляду безпосередньо обробки всі розглянуті деталі у цілому є досить технологічними з точки зору обробки, проте розміри заготовок, товщина матеріалу та його фізико-механічні властивості свідчать про дуже низьку жорсткість конструкції та необхідність застосування спеціальних настановних пристроїв.

Існуючий технологічний процес на виробництві засновано на механічній обробці зазначених у таблиці поверхонь з використанням працівників високої кваліфікації, ручного інструменту та розмічувальних накладних шаблонів для забезпечення точного положення поверхонь, що обробляються. Установка заготовок здійснюється на спеціальні каркасні пристрої, які повторюють контур заготовки по основним поверхням, що забезпечує необхідну жорсткість при обробці. Пристосування виготовляються на фрезерних верстатах із ЧПУ з матеріалу, який легкообробити (ДСП, МДФ), під кожну конкретну деталь із використанням її 3D моделі. Закріплення заготовок здійснюється з використанням шурупів за технологічним напуском заготовки (рис.3), який у подальшому видаляється при обробці зовнішнього контуру.



Рис.3 – Установка и закріплення заготовки деталі

операцій.

Незважаючи на те, що обробку деталей виконують робітники високої кваліфікації, ймовірність отримання бракованих виробів досить висока через тривалість процесу обробки (повний цикл обробки лицьової панелі займає більше години), монотонності праці (свердління 320 однакових отворів) та необхідності працювати за шаблонами та розміткою. Тому автоматизація виконання обробки деталей на цьому робочому місці дозволить скоротити час виконання операцій, кількість бракованих виробів та вивільнити висококваліфікований персонал.

Таким чином, на підставі аналізу параметрів типових представників оброблюваних деталей, існуючого технологічного процесу та можливостей підприємства можна сформулювати ряд основних вимог до спроектованої автоматизованої технологічної системи:

- 1 - можливість обробки заготовки з різних сторін, бажано 5-ти координатна обробка;
- 2 - можливість обробки криволінійних контурів у двох площинах;
- 3 – можливість обробляти габаритні деталі з робочою зоною понад 2100x800мм;
- 4 - можливість встановлення та закріплення заготовки поза робочою зоною обладнання;
- 5 - можливість обробки більшості поверхонь одним інструментом;
- 6 – можливість швидкої зміни інструменту;
- 7 - можливість обробки на високих швидкостях різання;
- 8 - можливість швидкого переходу від виготовлення однієї деталі до іншої;
- 9 - можливість скорочення часу виконання допоміжних технологічних переходів;

10 – можливість скорочення участі працівника у виробничому процесі.

З аналізу конфігурації типових деталей представників обробки, технологічних процесів і сформованих виходячи з цього аналізу вимог до автоматизації процесу обробки авторами зроблено висновок про можливість автоматизації робочого місця з виготовлення деталей. У якості структурної моделі автоматизованої технологічної системи, яка задовольняє вище переліченим вимогам, доцільно використовувати програмну автоматизацію обладнання, що використовується на даному робочому місці (див. рис.1 та рис.2).

Реалізувати таку систему можна у різний спосіб.

По-перше, можна використовувати 5-ти координатний фрезерний верстат зі столом відповідного габариту, оснащений поворотним пристроєм для забезпечення обробки з усіх можливих сторін. Однак, у цьому випадку з одного боку, утруднено виконання вимоги 3, а з іншого вимагає значних капітальних вкладень через вартість такого обладнання.

По-друге, можна використовувати 5-ти або 6-ти координатний робот-маніпулятор типу «вільна рука», оснащений необхідною силовою установкою, що забезпечує потрібні режими обробки, а також спеціальними пристроями для встановлення заготовок. Це дозволяє виконати повний цикл обробки та забезпечити всі зазначені вище вимоги до системи. Щодо вартості реалізації проекту цей варіант є набагато економічним. Тому автори рекомендували цей варіант як основний.

Реалізація запропонованого варіанта автоматизованої технологічної системи полягає у підборі обладнання, інструменту та технологічного оснащення відповідно до висунутих вище вимог.

Особливості оброблюваності полістиролу, форма поверхонь та вимоги, які до них пред'являються, дозволяють використовувати кінцеві фрези спеціальної конструкції, які забезпечують початкове формування отвору на незначну глибину з подальшим формуванням необхідного профілю периферійною поверхнею кінцевої фрези за рахунок автоматизації кінематики переміщення інструменту. Виходячи з аналізу розмірів оброблюваних поверхонь (мінімальний діаметр обробки 3мм) доцільно використовувати спеціальну



однокромкову фрезу для обробки пластику AA1LX D3.3*d3*112*L50 UA (рис.4), що дозволяє забезпечити чистий зріз без задирок. Рекомендовані режими обробки для цього варіанту: подача – 4м/хв; частота обертання шпинделя - 20000об/хв.

Використання одного інструменту для виконання різних технологічних переходів дозволяє значно скоротити допоміжний час на заміну та налаштування інструменту у координатах технологічної системи (виведення в точку «0»).



Рис.5 – Мотор-шпіндель ES951e

Для реалізації необхідної частоти обертання інструменту слід підібрати силовий агрегат, який забезпечує потрібну частоту обертання шпинделя та потужність різання. При одноінструментній обробці полістиролу кінцевими однокромковими фрезами при ширині фрезерування, яка не перевищує 4мм, момент, що крутить, не перевищує 4Нм, а необхідна потужність різання не перевищує 4кВт. Виходячи з цього, у якості силового вузла пропонується використовувати мотор-шпиндель ES951e компанії HSD Mechatronics (рис.5) з отвором для встановлення інструменту по стандарту ISO30. Цей мотор масою 27кг забезпечує момент, що крутить, 6,5Нм і швидкість обертання від 12000 до 24000 об/хв при потужності 8кВт і використанні напруги 220В, що не вимагає додаткових заходів з

техніки безпеки на робочому місці. При виборі моделі робота-маніпулятора, крім задоволення розглянутих вище вимог, враховувалися додатково можливість встановлення мотор-шпинделя відповідної маси на руці робота (вантажопідйомність робота) та експлуатаційні особливості робототехніки на підприємстві. Так як на підприємстві вже був досвід роботи з системами програмування ROBOGUIDE фірми FANUC, вибір зупинився на роботі-маніпуляторі FANUC M-710iC/70 (рис.6), хоча були розглянуті варіанти від інших фірм виробників роботів-маніпуляторів (Kawasaki, KUKA, MitsubishiMotoman та ін).

Промисловий робот FANUC M-710iC/70 має необхідний максимальний радіус досяжності і забезпечує обробку поверхонь всіх розглянутих вище типових деталей, незважаючи на те, що зона обробки деталей часто стає в рази меншою, тому що невелика

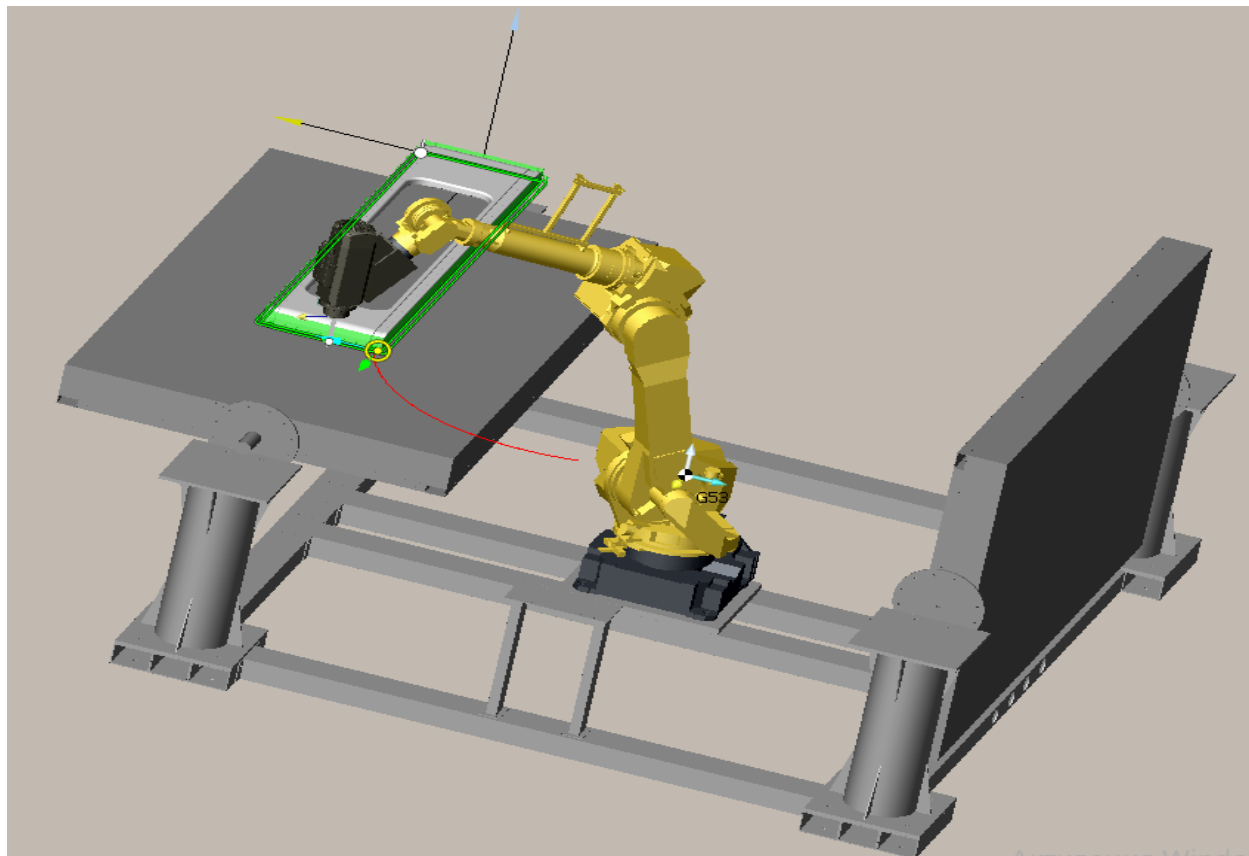


Рис.6 – Робот-маніпулятор FANUC M-710iC/70

довжина інструменту, його положення в просторі, габарити силової установки та обмежені зони обертання робота не дозволяють обробляти відносно далекі сторони великогабаритних деталей за один устан.

При програмуванні робота на обробку деталі «Накладка» виникла проблема доступу руки з інструментом до зони обробки прямокутного отвору деталі, яка була вирішена незначною зміною геометрії вікна узгодженої із замовником (поверхня контуру вікна стала нахиленою до торцевої поверхні під кутом 5°), що ніяк не вплинуло на наступний монтаж конструкції.

Для мінімізації часу на заміну заготовки та забезпечення максимальної безперервності процесу обробки за рахунок скорочення допоміжного часу на зняття/установку заготовки на робочому місці було запропоновано встановити 2 робочі столи (з поворотними осями обертання у вертикальній площині на кут 45°) з обох боків робота (рис.7).



Це дозволяє виконувати підготовчі роботи на одному столі (зняття-установку деталі, заміну пристрою для обробки іншої деталі тощо), поки робот виконує обробку деталі, встановленої на іншому столі.

На столах передбачені базові отвори для монтажу пристроїв під обробку конкретної деталі. Тобто, в процесі обробки однієї деталі є можливість встановити інший пристрій та підготувати обробку деталі іншого типу на другому столі (встановити пристрій і саму заготовку безпосередньо під час виконання обробки). Такий підхід дозволяє значно зменшити допоміжний час виконання технологічної операції. В якості настановно-затискних пристроїв авторами було запропоновано використовувати спеціальні пристрої з вакуумним затиском, що дозволяє значно



скоротити час на закріплення заготовки і повністю виключити слюсарні операції ручного обрізання залишкового напуску. Однак, в даний час запропоновані варіанти реалізовані не в повному обсязі, що пов'язано з додатковими інвестиціями, а тільки для деталей зі зниженою жорсткістю і обробкою складнопрофільних поверхонь великої протяжності, що найбільш часто замовляються, хоча в подальшому передбачається розширення номенклатури спеціальних вакуумних пристосувань (рис.8).

Висновки.

Запропонована структура та послідовність аналізу виробничого процесу на підприємстві, конструктивних характеристик та технології обробки комплексу деталей з полістиролу дозволила оцінити можливість та доцільність автоматизації виробничого процесу на ділянці механічної обробки та виробити систему вимог до структури та параметрів автоматизованого робочого місця.

Це дозволило значно скоротити час щодо підбору та проектування основного обладнання, інструменту та засобів технологічної оснастки, які здатні реалізувати запропонований варіант автоматизованої технічної системи, а також підвищити технологічність обробки деяких деталей та оптимізувати технологічні процеси обробки всього комплексу деталей. Запропонований варіант автоматизованого робочого місця дозволив значно (до 50%) скоротити допоміжний та підготовчий заключний час на обробку деталей та підвищити частку безпосередньо процесу різання до 50-60%. На запропонованому автоматизованому робочому місці можлива обробка також інших типів деталей із полістиролу, які задовольняють розглянутим вище параметрам процесу обробки (габаритам деталі, товщині матеріалу, розмірам та параметрам оброблюваних поверхонь та ін.).

У роботі вибір варіантів автоматизації робочого місця оснований на експертній оцінці сформованих вимог до технічної системи. Надалі автори припускають використовувати штучний інтелект у процесі створення структури автоматизованої технологічної системи та варіантів її технічної реалізації.

Підтвердження. Загальна методика, послідовність та принципи розгляду параметрів були використані при оцінці можливості та доцільності автоматизації ділянки механічної обробки на підприємстві «UBC Promo». В результаті роботи були вироблені рекомендації щодо можливості та доцільності автоматизації ділянки, які частково були реалізовані та їх реалізація буде продовжена у міру розвитку підприємства.

Список літератури:

1. Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні / Н.М. Капустін, П.М. Кузнецов, А.Г. Схіртладзе та ін; за ред. Н.М. Капустина. - М.: Вищ. шк., 2004. - 415 с.: іл.
2. Якимов О. В. Технологія автоматизованого машинобудування / О. В. Якимов та ін. // Одеса: ОНПУ, 2005. - 410 с.
3. Automation production systems and computer-integrated manufacturing / Mikell P. Groover. // Lehigh University. - Fourth edition. , 2015. - 811 p.
4. Groover, Mikell P. Fundamentals of modern manufacturing: materials, processes and systems, 4th ed // John Wiley & Sons, Inc., 2010. - 1025p.
5. Шевченка В.В. Основи автоматизації технологічних процесів. Електронне мережне навчальне видання. / В.В. Шевченка, Г.С. Тимчик. - Київ: КПІ, 2023. - 111с.
6. Муляр Ю. І. Автоматизація виробництва в машинобудуванні. Частина I / Ю. І. Муляр, С. В. Репінський. - Вінниця: ВНТУ, 2019. - 99 с.
7. Гунько Ю. Л. Автоматизація виробничих процесів / Гунько Ю. Л., Федорусь Ю. В.; Луцька нац. техн. ун-т. - Луцьк: РВВ ЛНТУ, 2015. - 164с.
8. Grigoryuk EN Problems of Automation and Management Principles Information Flow in Manufacturing / EN Grigoryuk, VV Bulkin // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 221 (2017) 012006 doi:10.1088/1757-899X/221/1/012006
9. Дубчак В. М. Розв'язання прикладних завдань автоматизації підготовки сучасних технологічних процесів механічної обробки / В. М. Дубчак // Техніка, енергетика, транспорт АПК. - 2019. - № 1. - С. 97-102.
10. Structural Optimization of Technological Layout of Modular Machine Tools / Yakovenko I., Permyakov A., Prihodko O., Basova Y., Ivanova M. // In: Tonkonogiy V. et al. (eds) Advanced Manufacturing Processes. InterPartner 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. - 2020. - pp. 352-363. https://doi.org/10.1007/978-3-030-40724-7_36
11. Parametric Optimization of Technological Layout of Modular Machine Tools. / Yakovenko I., Permyakov A., Naboka O., Prihodko O., Navryliuk Y. // In: Ivanov V., Trojanowska J., Pavlenko I., Zajac J., Peraković D. (eds) Advances in Design, Simulation and Manufacturing III. DSMIE 2020. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. - 2020. - pp. 85-93 https://doi.org/10.1007/978-3-030-50794-7_9
12. Sevic M. Models of smart factory using principles of INDUSTRY 4.0 / Martin Sevic, Petr Keller // MM SCIENCE JOURNAL. - 2021 - MARCH. p.4238-4243.
13. Koblasa, F., Sirova, E., Kralikova, R.: Використання процесів мислення в промислових практиках - Preliminary survey. Tehnički vjesnik, 2019, 26.3: 786-792.
14. Yevheniia Basova et al. Increasing supply chain resilience in the face of rapidly changing demand with 3d model visualisation. / Dobrotvorskiy S., Balog M., Iakovets A., Chelabi M., Zinchenko A. // International Journal of Mechatronics and Applied Mechanics, 2023, 2023(14), pp. 35-47
15. Cutting plastics pollution — Financial measures for more circular value chain // European Investment Bank. - 2023. - 66 p.
16. Хавін Г.Л. Ефективність свердління полімерних композиційних матеріалів свердлами, відмінними за конструкцією від спірального / Хавін Г.Л., Хоу Чживень // Інтегровані технології та енергозбереження / Нац. ун-т "ХП". - Харків, 2018. - №3 - с. 47-53.
17. Хавін Г.Л. Потрібно утворення при свердлінні полімерних композиційних матеріалів // Вісник НТУ «ХП» - Харків, 2014. - №42 - с.129-139.

Bibliography (transliterated):

1. Automatizacija proizvodstvennyh protsessov v mashinostroenii / NM Kapustin, PM Kuznetsov, AG Shirladze i dr.; podred. NM Kapustina. - M.: Vyssh. shk., 2004. - 415 s.: il.
2. Yakimov OV Tehnologiya avtomatizovanogo mashinobuduvannya / OV Yakimov ta in. // Odesa: ONPU, 2005. - 410p.
3. Automation production systems and computer-integrated manufacturing / Mikell P. Groover. // Lehigh University. - Fourth edition. , 2015. - 811 p.

4. Groover , Mikell P. Fundamentals of modern manufacturing: materials, processes and systems, 4th ed // John Wiley & Sons, Inc., 2010. - 1025 p
5. Shevchenko VV Osnovi avtomatizatsii i tehnologichnih protsesiv .Elektronemerezhnenavchalnevidannya . / VV Shevchenko, GS Timchik . - Kyiv : KPI, 2023. - 111s.
6. Mulyar Yu. I. Avtomatizatsiya virobnytstva v mashinobuduvanni . Chastina I / Yu. I. Mulyar , SV Repinskiy . - Vinnitsya : VNTU, 2019. - 99 s.
7. Gunko Yu. L. Avtomatizatsiya virobnychih protsesiv / Gunko Yu. L., Fedorus Yu. V.; Lutskiy nats . tehn . un-t . - Lutsk: RVV LNTU, 2015. - 164s.
8. Grigoryuk EN Problems of Automation and Management Principles Information Flow in Manufacturing / EN Grigoryuk , VV Bulkin // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 221 (2017) 012006 doi:10.1088/1757-899X/221/1/012006
9. Dubchak VM Rozvyazanniya prikladnih zadach avtomatizatsii i pidgotovki suchasni tehnologichnih protsesiv mehanichnoyi obrobki / VM Dubchak // Tehnika , energetika , transport APK. - 2019. - # 1. - S. 97-102.
10. Structural Optimization of Technological Layout of Modular Machine Tools / Yakovenko I., Permyakov A., Prihodko O., Basova Y., Ivanova M. // In: Tonkonogyi V. et al. (eds) Advanced Manufacturing Processes. InterPartner 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. – 2020. – pp. 352-363. https://doi.org/10.1007/978-3-030-40724-7_36
11. Parametric Optimization of Technological Layout of Modular Machine Tools. / Yakovenko I., Permyakov A., Naboka O., Prihodko O., Havryliuk Y. // In: Ivanov V., Trojanowska J., Pavlenko I., Zajac J., Peraković D. (eds) Advances in Design, Simulation and Manufacturing III. DSMIE 2020. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. – 2020. – pp. 85-93 https://doi.org/10.1007/978-3-030-50794-7_9
12. Sevic M. Model smart factory using the principles of INDUSTRY 4.0 / Martin Sevic , Petr Keller // MM SCIENCE JOURNAL. - 2021 - MARCH. p.4238-4243 .
13. Koblasa , F., Sirova , E., Kralikova , R . Tehnickivjesnik , 2019, 26.3: 786-792.
14. Yevheniia Basova et al. Increasing supply chain resilience in the face of rapidly changing demand with 3d model visualisation / Dobrotvorskiy S., Balog M., Iakovets A., Chelabi M., Zinchenko A. // International Journal of Mechatronics and Applied Mechanics, 2023, 2023(14), pp. 35–47
15. Cutting plastic pollution — Financial measures for more circular value chain // European Investment Bank, - 2023. – 66 p .
16. Khavin G.L. Effektivnost verleniyapolimernykh kompozitivsverlami , otlichnyimi pokonstruktivniotspiralnogo / Khavin GL, Hou Ch given // Integrovaniye tehnologiy energo zberegeniya / Nats._in-t "HPI". - Kharkiv , 2018. - #3 - s. 47-53.
17. Khavin G.L. Trescheno obrazovanie prisverleniyapolimernykh kompozitiv // Visnik NTU «HPI» - Kharkiv , 2014. - #42 -s.129-139.

Відомості про авторів / About the Authors

Яковенко Ігор Едуардович (Yakovenko Ihor) - кандидат технічних наук, професор кафедри "Технологія машинобудування та металорізальні верстати" Навчально-наукового інституту механічної інженерії та транспорту Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», м. Харків; e-mail: igor.dych59@gmail.com, ORCID: 0000-0001-8344-996X

Пермяков Олександр Анатолійович (Permyakov Oleksandr) - доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри "Технологія машинобудування та металорізальні верстати" Навчально-наукового інституту механічної інженерії та транспорту Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», м. Харків; e-mail: perm_a@i.ua, ORCID: 0000-0002-9589-0194

Ільїн Дмитро Олексійович (Ilin Dmitro) – магістр групи МІТ – М422к.05. Навчально-наукового інституту механічної інженерії та транспорту Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», м. Харків; e-mail: d.ilin@promo.beer-co.com, ORCID: 0009-0004-5199-3943

Басова Євгенія Володимирівна (Basova Yevheniia) - кандидат технічних наук, доцент кафедри "Технологія машинобудування та металорізальні верстати" Навчально-наукового інституту механічної інженерії та транспорту Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», м. Харків; e-mail: e.v.basova.khpi@gmail.com, ORCID: 0000-0002-8549-4788

Горбулик Володимир Іванович (Gorbulyk Volodymyr) – кандидат технічних наук, доцент кафедри радіотехніки та інформаційної безпеки Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича, Україна м. Чернівці, вул. Коцюбинського, 2, тел. +38050 9792460, E_mail gorbulyk@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-6091-2261>