

УДК 621.9.048

РОЗРОБКА МЕТОДУ АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИРОБНИЦТВА АБРАЗИВНИХ ГРАНУЛ І ПРИСТРОЮ ДЛЯ ЙОГО РЕАЛІЗАЦІЇ

Шумакова Т.О., Осипов В.І.

DEVELOPMENT OF METHODS FOR COMPUTER-AIDED MANUFACTURING OF ABRASIVE GRAINS AND A DEVICE FOR ITS IMPLEMENTATION

Shumakova T., Osipov V.

У статті проаналізовано методи і пристрої для автоматизованого виробництва абразивних гранул певної геометричної форми та запропоновано шляхи удосконалення конструкції пристроїв для виготовлення гранул в формі пірамід, що мають в основі не опуклий шестикутник.

Ключові слова: метод лиття, абразивна гранула, автоматизація процесу виробництва, підвищення продуктивності.

Вступ. На сьогоднішній день, в умовах ринкової економіки, велике значення надається підвищенню конкурентоспроможності продукції. Одним із значних чинників, що впливають на остаточну вартість продукції промислового підприємства є якість та ціна інструменту, що використовується в процесі обробки продукції. Якщо мова йде про операції очищення, шліфування або полірування деталей складної конфігурації, то найчастіше використовуються методи вібраційної обробки в середовищі вільних абразивів, галтування, вібро-шпіндельної, вібро-центробіжної обробки та ін. В якості інструменту для всіх перерахованих випадків використовуються абразивні гранули (в деяких джерелах - галтувальні тіла). Нажаль на сьогодні немає вітчизняного підприємства, яке б серійно виготовляло абразивні гранули і, найчастіше, українські виробники закуповують їх в Росії (Московський абразивний завод, див. рис. 1, а), або в Німеччині (фірма RÖSLER, рис. 1, б).

Метою статті є розробка методу автоматизованого виготовлення абразивних гранул і конструкції пристрою для його реалізації.

Матеріали та результати дослідження. На сьогоднішній день існують кілька методів автоматизованого виробництва абразивних гранул, описані в роботах [1–4]. Так автор роботи [1], вказує, що абразивні гранули на керамічному

зв'язуванні на виробництві найчастіше отримують методами видавлювання або пресування. Виготовлення складається з чотирьох послідовних етапів: готування суміші, формування, сушіння та обпалювання в електричній печі (рис. 2). В обох випадках формувальна маса отримується тривалим перемішуванням різних скла-



а



б

Рис. 1. Приклади, що серійно виготовляються:
а – Московським абразивним заводом;
б – фірмою RÖSLER

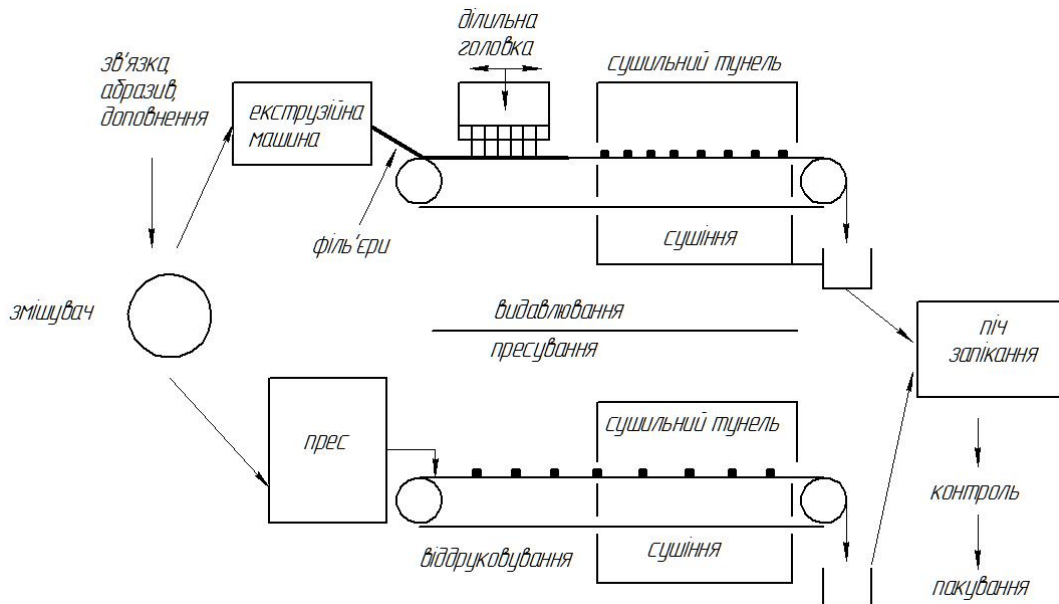


Рис. 2. Методи виготовлення абразивних гранул на керамічному зв'язуванні [1]

дових: глини, абразивних зерен і різних доповнень, які добре впливають на перемішування, обпалювання й наступне зв'язування. Перемішана маса переміщується в екструдер, який видавлює її через філь'єру. Операція екструзії або волочіння, як вказують автори роботи [1], гарантує безперервне видавлювання маси (майбутніх абразивних гранул) з перетином у формі філь'єри. Філь'єра в чисельних горизонтальних проходах робить певне число паралельних стрічок, що потрапляють на конвеєр, який рухається з певною швидкістю. На самому конвеєрі є поділ на велику кількість елементів.

Принципи описаних в [1] методів рівнозначні та загальноприйняті також для виробництва гранул на полімерному зв'язуванні. Процеси виробництва формованих абразивних гранул на полімерному зв'язуванні ті ж, що й для різних типів смол, при цьому послідовність фаз полягає в ретельному змішуванні абразиву й смоли, після чого здійснюється заливання, що супроводжується реакцією, яка приводить до затвердіння, з наступним вилученням з форми, контролем і впакування [1]. Особливість пластичних смол полягає в тому, що якість процесу виготовлення гранул пов'язана із тривалістю початку реакції, а також із тривалістю між початком реакції й кінцем заливання. Ці процеси повинні відповідати встановленим вимогам, при цьому композиційне змішування здійснюється у два етапи: первинне змішування між смолою й абразивними зернами, тривалість якого не лімітується, з послідовним дозованим введенням каталізатора, який викликає початок реакції.

Автором роботи [2] було запропоновано пристрій для автоматизованого виготовлення абразивних гранул (рис. 3). Даний пристрій дозволяє отримувати гранули в формі тетраедра й здійснює повний цикл їх виготовлення, починаючи від завантаження суміші у філь'єру приводного ножа, до

сушіння й вивантаження готових гранул. Даний метод виготовлення гранул є спробою створення пристрою для автоматизованого виготовлення абразивних гранул певної форми. Його сутність полягає в наступному – спочатку в порожнину приводного барабану з системою змащування подається суміш і проводиться обертання на крок. З філь'єри в приводний ніж подається постійний об'єм абразивної суміші. Приводний ніж, здійснюючи оберт на крок відрізає зайвий обсяг суміші. Потім система ТВЧ здійснює процес полімеризації таким чином: форсунка, нагрі-

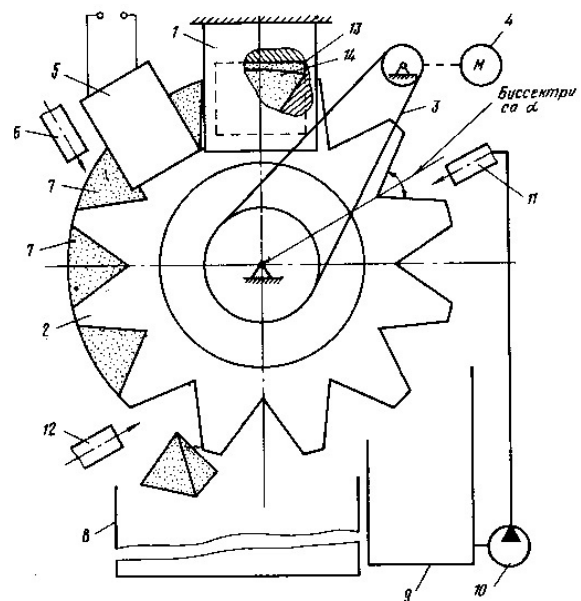


Рис. 3. Пристрій для пресування абразивних гранул у формі тетраедра [2]: 1 – філь'єра; 2 – приводний ніж; 3 – клиноремінна передача; 4 – електродвигун; 5 – індуктор ТВЧ; 6 – форсунка; 7 – гранули; 8 – бункер; 9 – бак зі змащувальним матеріалом; 10 – насос; 11, 12 – форсунки; 13 – головна порожнина; 14 – додаткова конічна порожнина

ваючи порожнину ножа з гранулою, відокремлює її від барабану і, звільняючись, вона випадає в бункер-накопичувач. Потім відбувається підготовка порожнини ножа до наступного завантаження абразивної суміші. Цикл повторюється.

Недоліками конструкції даного пристрою є засмічення порожнини барабану через недостатнє очищення від суміші в процесі експлуатації. Засмічення барабану буде приводити до втрати форми гранул, що призведе до великої кількості браку, а також до непередбачених зупинок пристрою для його очищення. Також істотним недоліком конструкції системи подачі суміші є те, що при її застосуванні витрачається велика кількість коштовної абразивної суміші, оскільки частина суміші призначена для зрізання. Ефективність застосування системи ТВЧ на операції полімеризації автором на практиці не підтверджена, і є теоретичною.

Недоліком технологічності описаного пристрою є розмір кута при вершині загостреного диска, який дорівнює $\arcs \cos 1/3$, що становить $70,5^\circ$, крім того, гранули, виконані з кутом при вершині більше ніж $45 - 60^\circ$, за результатами досліджень, наведених в [3] не забезпечують якісну обробку деталей складної конфігурації.

У роботі [4] запропонований інший метод автоматизованого виготовлення гранул відбитком (рис. 4). Його сутність полягає в тому, що приводний, ніж обертаючись навколо своєї осі, залишає на стрічці абразиву, що безперервно подається на конвеєр, відбитки, які відповідають формі майбутніх гранул, з наступною полімеризацією цих гранул [4], що на думку авторів, дозволяє отримувати їх певну правильну геометричну форму. Конструкція пристрою складається з: приводного ножа, барабану, конвеєрної стрічки, системи подачі суміші й системи полімеризації. Нажаль, в роботі [4] не описано конструктивного принципу роботи окремих вузлів, що не дозволяє оцінити ефективність їх застосування. Також автором не зазначено період полімеризації гранул, що ставить під питання ефективність даного методу й самого пристрою. Не враховано, також, засмічення приводного ножа, що

буде призводити до браку та необхідності зупинок для технічного огляду й очищення обладнання. Даний пристрій також є неефективним і через перевитрату коштовної абразивної суміші, яка залишається на приводному ножі й конвеєрній стрічці після відсікання відбитку. В наслідок цього зайва суміш потрапляє до накопичувального бункера, що призводить до необхідності здійснення додаткової операції сепарації гранул [4].

Нажаль, на сьогоднішній день на території України найпоширенішими є ручні методи виготовлення гранул, і використовуються вони тільки в дослідницьких цілях. Здійснені спроби створення пристроїв для автоматизованого виробництва гранул не знайшли свого реального застосування й не перейшли від проектів до реального використання у виробничих умовах. Залишається не вирішеним питання впровадження ефективного пристрою для виготовлення гранул, що дозволило б розв'язати питання імпорту коштовного й малоефективного інструменту для вібраційної, галтувальної, вібро-шпindelної, вібро-центробіжної та інших методів обробки деталей складної конфігурації в середовищі вільних абразивів на оздоблювально-зачисних операціях.

Для вирішення даної проблеми, за допомогою САПР КОМПАС-3D V16 було спроектовано пристрій АГ-1, що дозволяє здійснювати повний цикл виробництва гранули, починаючи від завантаження абразивної суміші, та закінчуючи отриманням готової гранули (рис. 5). Виготовлення гранул реалізується методом лиття готової суміші у задалегідь змащені матриці, що розміщені на приводному барабані. Сутність процесу полягає в наступному: абразивна суміш завантажується в бункер екструдера пристрою АГ-1 (3), який у свою чергу подає нормовану дозу суміші через фільтр екструдера в порожнини матриць барабану (2), які попередньо змащуються спеціальною речовиною за допомогою системи змащення (4). Кожна матриця має 14 порожнин, і оснащена електричними теннами, які забезпечують нагрівання цих порожнин, за рахунок чого

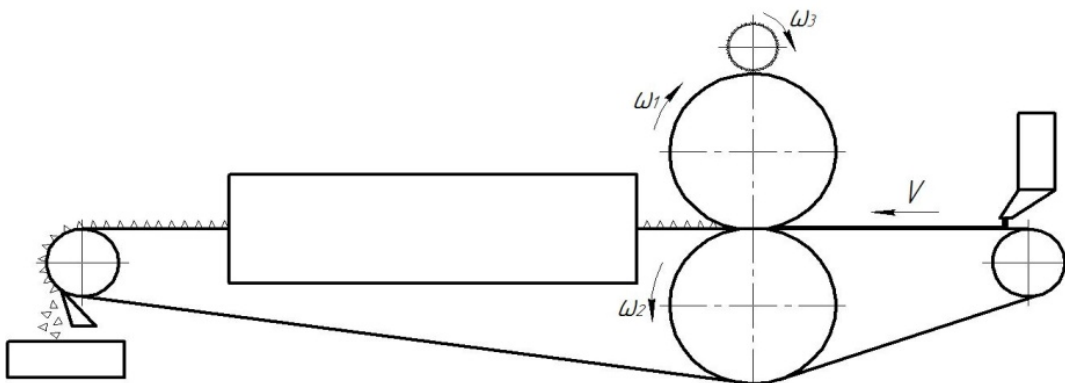


Рис. 4. Схема роботи пристрою, що дозволяє отримувати абразивні гранули методом відбитка [4]

здійнюється процес полімеризації. Після подачі абразивної суміші в порожнини матриці здійснюється оберт барабана на крок, рівний $360^\circ / n$, де n – сума числа матриць барабана (в даному пристрої шість матриць) й зазору між ними. Включення тенів відбувається через контрольований проміжок часу автоматично. Всі процеси управляються програмою та задаються оператором залежно від завдання виробництва. Після закінчення процесу полімеризації здійснюється наступний оберт барабана і відбувається випадання готових гранул в бункер-уловлювач 5, наступним ланцюгом автоматичної лінії може бути бункер-накопичувач, або вбудований в лінію конвеєр стрічкового типу для здійснення безпосередньої подачі готового виробу в ящики для подальшого пакування. Після звільнення порожнин матриць від гранул проводиться черговий оберт барабана і здійснюється змащування порожнин та підготовка до наступного завантаження абразивної суміші.

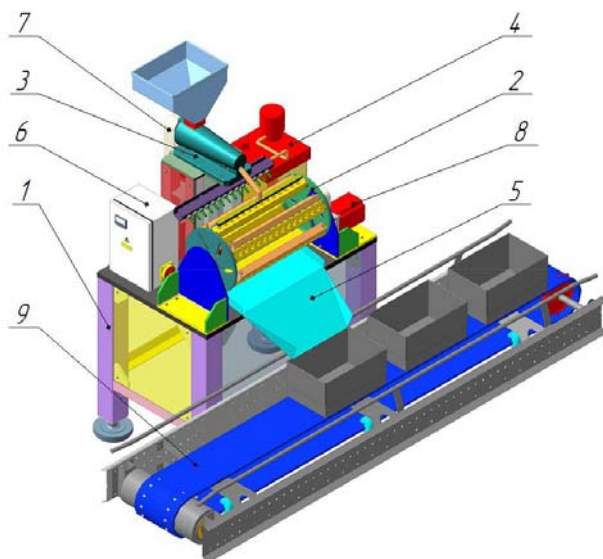


Рис. 5. Автоматична лінія АГ-1:

1 – станина; 2 – привідний барабан; 3 – екструдер шнекового типу; 4 – система змащення; 5 – бункер-уловлювач; 6 – електрична шафа; 7 – привід екструдера; 8 – привід барабана; 9 – конвеєр стрічкового типу

Основними вузлами пристрою АГ-1: станина, привідний барабан, екструдер шнекового типу, система змащення.

Станина пристрою є зварною конструкцією встановленою на чотири віброопори ОВ-31М (рис. 6).

Вона призначена для забезпечення: перешкоджання деформації при роботі пристрою, а також для виключення заклинювання встановлених на неї елементів пристрою і забезпечення безперебійної безвідмовної його експлуатації. Перевагою зварної станини є:

1. Набагато більш низька ціна, в порівнянні з литими станинами (чавун, полімер бетон і т.д.);

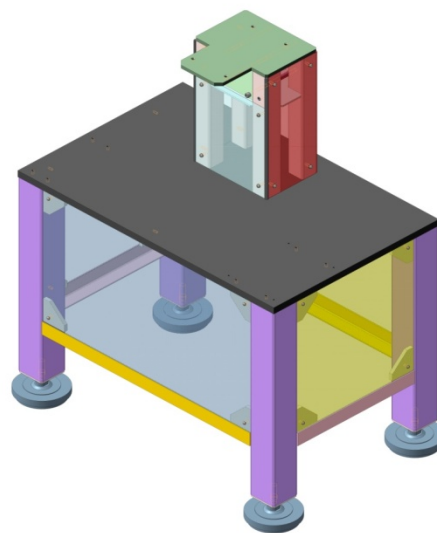


Рис. 6. Збірка-3D станини пристрою АГ-1

2. Менша вага (внаслідок більшого модуля пружності сталі);

3. Можливість застосування більш досконалих з точки зору жорсткості форм;

4. Менша трудомісткість механічної обробки (можливість виправлення дефектів конструкції вирізання вікон, приварювання ребер жорсткості), і що не менш важливо, оскільки прискорює процес виробництва.

Особливо важливими елементами станини є дві плити. На першу плиту кріпиться екструдер – вона повинна забезпечувати прямолінійність поверхні і співвісність щодо інших елементів конструкції забезпечуючи мінімізацію браку. Друга плита – є головною несучою основою, так як на неї встановлюються всі елементи пристрою.

Відмінною особливістю даної конструкції станини є використання багатомодульної системи з можливістю швидкої модернізації, а також приєднання інших модулів для удосконалення процесу виготовлення абразивних гранул.

Параметричне моделювання в САПР КОМПАС-3D дозволило скоротити час перестроювання і введення коректив у проєктований пристрій. Забезпечило можливість створення конкурентоспроможного виробу та дає можливість, у разі майбутніх змін, вносити корективи в конструкцію без необхідності перестроювання моделей, лише змінюючи ввідні дані, записані у вікні змінних (рис. 7).

Привідний барабан пристрою АГ-1 (рис. 8) складається з приводного валу (1), на який встановлюються два колеса (2). У колесах зроблені вікна для полегшення конструкції.

Між колесами закріплюються певна кількість матриць (3) (у випадку, що розглядається їх шість). Кожна з матриць має 14-ть робочих порожнин для завантаження і полімеризації абразивної суміші (кількість порожнин може змінюватись в залежності

від виробничих потреб, тим самим змінюючи модифікацію верстата).

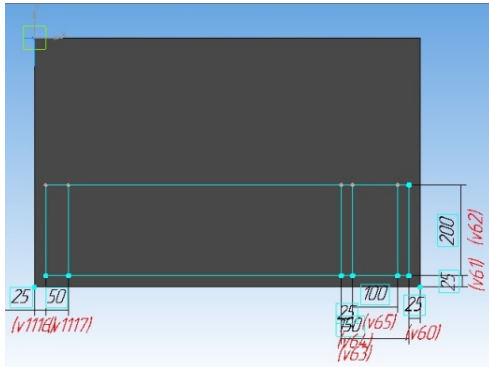


Рис. 7. Параметризація і завдання змінних розташування отворів на плиті станини

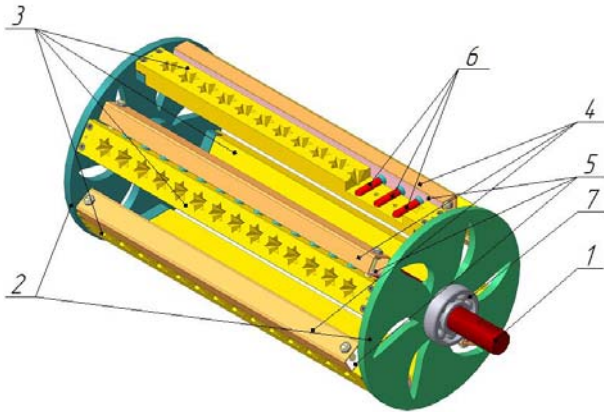


Рис. 8. Збірка-3D барабана пристрою АГ-1:

- 1 – приводний вал; 2 – два колеса; 3 – шість матриць (на кожній 14 робочих порожнин); 4 – планка-кожух;
- 5 – планка кріплення тенів; 6 – тринадцять пальчикових електричних тенів в кожній з 6-ти матриць;
- 7 – радіальний підшипник

Вся конструкція барабанна є збірною. Для базування і закріплення деталей використовуються гвинти і штифти. Така конструкція дозволяє здійснювати просту і в той же час швидко заміну елементів, у разі переоснащення чи ремонту. Використовування для збирання матриць штифтів дозволяє здійснювати точність базування як щодо коліс барабана, так і щодо філь'єри екструдера роблячи спроектовану конструкцію максимально простою, точною та технологічною.

Представлена конструкція має ряд переваг перед подібними аналогами, в першу чергу за рахунок своєї універсальності, високої ремонтпридатності, забезпеченню високого темпу випуску продукції і мінімізації простоїв виробництва, а також можливістю багатомодульності системи і швидкого переоснащення на інший вид форми продукції (абразивних гранул), що випускається, тим самим роблячи обладнання універсальним і

конкурентоспроможним в порівнянні з іноземними аналогами.

Принцип циклічності і постійності роботи кожної з матриць дозволяє здійснювати безперервне виготовлення гранул, що робить цей метод і пристрій для його реалізації більш ефективним в порівнянні з відомими раніше.

Розрахунок екструдера шнекового типу спроектованого пристрою АГ-1 проведемо згідно з методикою, наведеною в [5]. Спроектований шнек має такі параметри: $d_{\text{валу}} = 25 \text{ мм}$; $D_{\text{початку витка}} = 75 \text{ мм}$; $D_{\text{закінчення витка}} = 40 \text{ мм}$; $L_{\text{шнеку}} = 250 \text{ мм}$; $t = 1 \text{ мм}$ (рис. 9).

Продуктивності роботи шнеку безпосередньо залежить від плану виробництва та задається програмним забезпеченням, яке в свою чергу керується оператором.

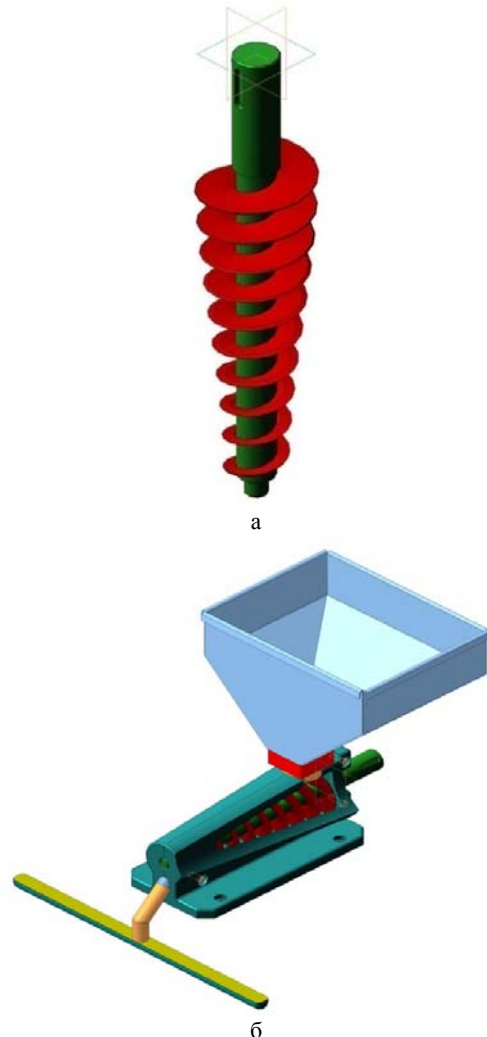


Рис. 9. Загальний вигляд екструдера шнекового типу для дозованої подачі абразивної суміші у матриці:
а – загальний вигляд шнеку; б – 3D- збирання шнеку

Корпус екструдера (рис. 10) складається з двох частин, закріплених між собою за допомогою гвинтового з'єднання і встановлювальних штифтів для забезпечення точності позиціонування. Зазор

між гвинтом і корпусом забезпечується залежно від матеріалу транспортування і вибирається конструктивно у процесі ескізного компонування.

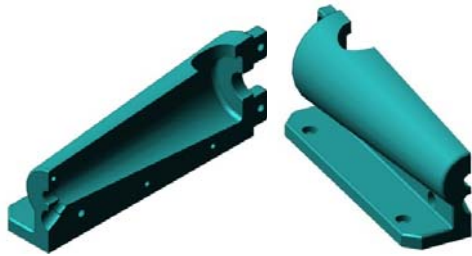


Рис. 10. Права частина корпусу екструдера

Для підвищення технологічності конструкції пристрою АГ-1 замість спеціально спроектованої системи змащування застосуємо готове комплексне рішення від компанії SKF (Німеччина) - SKF MonoFlex [6] (рис. 11).

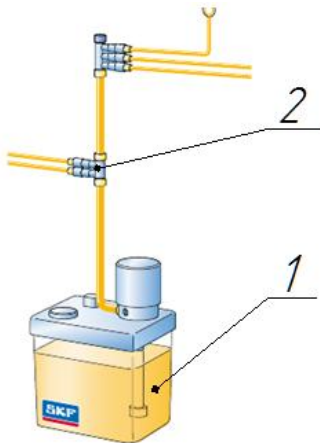


Рис. 11. Схема системи змащування типу SKF MonoFlex: 1 – шестерінчастий насос; 2 – поршневий розподільник [6]

Одномагістральна системи змащування SKF MonoFlex, призначені для рідких олій і пластичних мастил класу консистенції від 001 до 2 по NLGI і призначена для роботи в обладнанні малого та середнього розміру, яке використовується в металорізальних верстатах, друкованих та текстильних машинах, будівельному устаткуванні. Обсяги мастила в інтервалі від 0,01 до 2,5 см³ на кожен мастильний імпульс розподіляються в кожен окрему точку змащування [6]. Однопоршневий дозуючий клапан на точку мастила забезпечує подачу необхідної кількості мастила незалежно від зміни в'язкості або зворотного тиску. Здійснюється можливість прогнозування зміни масштабів системи змащування, оскільки однамагістральна система подачі мастила SKF MonoFlex відрізняється модульною конструкцією.

Система SKF MonoFlex сконструйована для роботи при тиску від 16 до 315 бар, вихідний тиск – від 2 до 70 бар [6]. Паралельне розташування однолінійних дозаторів робить конструкцію системи та її встановлення простою і надійною. Вибір

системи змащування здійснюється за допомогою інженерної служби компанії SKF.

Для подальшої побудови загального збирання пристрою АГ-1 була побудована асоціативна модель системи змащування (рис. 12). У випадку що розглядається система змащування складається з шестеренчастого насоса, поршневого розподільника і фільтр мастила.

Оцінку економічної ефективності спроектованого пристрою АГ-1 виконаємо відповідно до міжнародної практики по показниках чистої поточної вартості (NPV) і коефіцієнту внутрішньої

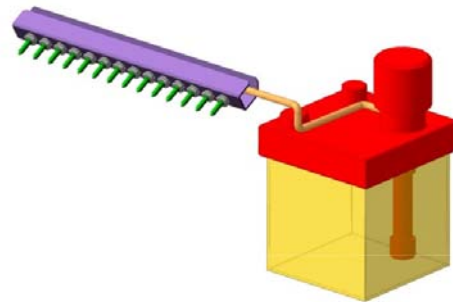


Рис. 12. Загальний вигляд системи змащування SKF MonoFlex пристрою АГ-1

норми прибутку (IRR). Методика та приклад розрахунку наведено в роботі [7]. Відповідно до розрахунків рентабельність, яка комплексно відображає ступінь ефективності використання матеріальних, трудових і грошових ресурсів становить для розглянутого проекту протягом трьох років (з 2017 р., по 2019 р.) 55 %, тобто на кожен інвестуємо у проект гривню доводиться 55 копійок прибутку. Це підтверджує економічну доцільність розробленого методу автоматизованого виробництва абразивних гранул та пристрою для його реалізації.

Висновки: 1. Встановлено, що на сьогоднішній день в Україні відсутнє підприємство, що серійно випускає абразивні гранули. Не знайдене також інформації про існування пристрою для їхнього автоматизованого серійного випуску. Описані в джерелах методи виготовлення в більшості ручні, вкрай трудомісткі, затратні і найчастіше носять експериментальний характер.

2. Спроектований пристрій для серійного виробництва абразивних гранул, дозволяє вирішити проблему виготовлення ефективного інструменту для обробки деталей вільними абразивами. Використання на всіх етапах проектування системи САПР КОМПАС-3D дозволило швидко створити асоціативні креслення, що значно скоротило час проектування та забезпечило максимальну візуалізацію спроектованого пристрою.

3. Параметричне моделювання в САПР КОМПАС-3D дозволило скоротити час перебудови і внесення коректив у спроектований пристрій та забезпечило можливість створення

конкурентоспроможного виробу. Дало можливість, у разі майбутніх змін, вносити корективи в конструкцію без необхідності перебудови моделей, лише змінюючи ввідні дані, записані у вікні змінних.

4. Оцінка ефективності проекту за показниками чистої поточної вартості (NPV) і коефіцієнтом внутрішньої норми прибутку (IRR) показала, що при впровадженні спроектованого пристрою у виробництво рентабельність проекту, яка комплексно відображає ступінь ефективності використання матеріальних, трудових і грошових ресурсів становить 55%, що підтверджує економічну доцільність впровадження спроектованого пристрою.

Література

1. P. Kunz. La Tribofinition. Parachevement des piece les abrasives. Librairie de Traitements de Surface. Paris. 1985.
2. А.с. 1183401 МКИ В 30 В 15/02 СССР Способ прессования абразивных гранул преимущественно в форме тетраэдра и устройство для его осуществления / Г.С. Венцкевич, М.Е. Шаинский и Ю.Н. Букаранов (СССР). – 3758852/25-27; Заявл. 03.05.84; Опубл. 07.10.85., Бюл. № 37.
3. Калмыков М.А. Инструмент для обработки деталей свободными абразивами: монография / М.А. Калмыков, Т.А. Шумакова, В.Б. Струтинский, Л.М. Лубенская. – Луганск: издательство «Ноулидж», 2010. – 214 с.
4. Костенков С.А. Повышение работоспособности галтовочных тел на основе применения зерен с контролируемой формой: автореф. дис. на соискание науч. степени канд. техн. наук: 05.03.01 «Технологии и оборудование механической и физико-технической обработки» / С.А. Костенков – Томск, 2007. – 21 с.
5. Hicks T. G. Handbook of Mechanical Engineering Calculations, Second Edition / Tyler Gregory Hicks. . – USA, 2006. - 1436 p.
6. ng-origin.skf.com
7. Алексеева А.И. Комплексный экономический анализ хозяйственной деятельности: Учебное пособие / А.И.Алексеева, Ю.В.Васильев, А.В., Малеева и др. – М.: Финансы и статистика, 2006. – 672с.

References

1. P. Kunz. La Tribofinition. Parachevement des piece les abrasives. Librairie de Traitements de Surface. Paris. 1985.
2. А.с. 1183401 МКУ V 30 V 15/02 SSSR Sposob pressovaniya abrazivnykh hranul preimushchestvenno v forme tetraedra i ustroystvo dlya eho osushchestvleniya / H.S. Ventskevich, M.E. Shainskiy i Yu.N. Bukaranov (SSSR). – 3758852/25-27; Zayavl. 03.05.84; Opubl. 07.10.85., Byul. № 37.
3. Kalmykov M.A. Instrument dlya obrabotky detaley svobodnyu abrazivamy: monohrafyya / M.A. Kalmykov, T.A. Shumakova, V.B. Strutyanskiy, L.M. Lubenskaya. – Luhansk: yzdatel'stvo «Noulydzh», 2010. – 214 s.
4. Kostenkov S.A. Povyshenye rabotosposobnosti haltvochnykh tel na osnove prymeneniya zeren s kontrolyruemoj formoy: avtoref. dys. na soyskanye nauch. stepeny kand. tekhn. nauk: 05.03.01 «Tekhnolohyy

i oborudovanye mekhanycheskoy i fyzyko-tekhnycheskoy obrabotky» / S.A. Kostenkov – Tomsk, 2007. – 21 s.

5. T. G. Hicks. Handbook of Mechanical Engineering Calculations, Second Edition / Tyler Gregory Hicks. . – USA, 2006. - 1436 p.
6. ng-origin.skf.com
7. Alekseeva A.I. Kompleksnyj ehkonomicheskij analiz hozyajstvennoj deyatel'nosti: Uchebnoe posobie / A.I.Alekseeva, YU.V.Vasil'ev, A.V., Maleeva i dr. – M.: Finansy i statistika, 2006. – 672s.

Шумакова Т.А., Осипов В.И. Разработка метода автоматизированного производство абразивных гранул и устройства для его реализации.

В статье проанализированы методы и устройства для автоматизированного производства абразивных гранул определенной геометрической формы и предложены пути совершенствования конструкции устройств для изготовления гранул в форме пирамид, в основании которых лежит невыпуклый шестиугольник

Ключевые слова: метод литья, абразивная гранула, автоматизация процесса производства, повышения производительности.

Shumakova T., Osipov V. Development of methods for computer-aided manufacturing of abrasive grains and a device for its implementation

The existing methods of manufacturing of abrasive granules with various geometric shapes and the new method of computer-aided manufacturing of abrasive granules in rubber and ceramic bonding and device for its implementation are examined in the article. A device for manufacturing of abrasive granules with desired geometric shape is presented. This device allows solving the problem of serial automated tools production for treatment of parts with complex geometric shapes in an environment of free abrasives. Using all stages of CAD-system KOMPAS-3D enabled to create associative drawings quickly, which significantly reduced design time and provide maximum visualization of the designed device. A parametric model of the device for manufacturing of abrasive granules with desired geometric shape was initially designed. This model allows automatically change the design of the device at changing of abrasive granules parameters (changing the type of binder, forms of beads and so on.), or their number. An economic efficiency of the designed device in real production conditions was confirmed.

Keywords: molding, abrasive grain, the automation of the production process, increasing of productivity.

Шумакова Тетяна Олександрівна – к.т.н., доц., доцент кафедри машинобудування та прикладної механіки, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля (м. Северодонецьк).
shumakovatatyana@yandex.ua

Осипов Віталій – магістр за напрямом підготовки "Машинобудування" Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля (м. Северодонецьк).
vitalik63@gmail.com

Рецензент: д.т.н., проф. **Чернецька-Білецька Н.Б.**

Стаття подана 20.09.2016