

**В. Г. Писаренко<sup>1</sup>**  
**С. В. Завадюк<sup>1</sup>**

## **ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ІНЖЕКЦІЙНОГО ЛИТТЯ ПОРОШКОВИХ СУМІШЕЙ НА ЯКІСТЬ ВИГОТОВЛЕННЯ КОМПОНЕНТІВ ЗБРОЇ**

<sup>1</sup>Казенне науково-виробниче об'єднання «Форт» МВС України

### **Анотація**

Об'єктом даного дослідження є процес інжекційного лиття порошкової суміші "CATAMOLD 8740" виробництва фірм BASF, Німеччина. Основною ціллю дослідження є визначення впливу таких параметрів лиття як: швидкість впорскування, тиск витримки, температура прес-форми, вакуумування порожнини прес-форми, геометрія точки впорскування. Обчислення впливу кожного параметру у процентному відношенні за допомогою статистичних методів дасть змогу прискорити оптимізацію процесу наладки термопласт-автоматів та підвищити якість деталей зброї

**Ключові слова:** деталі зброї, інжекційне лиття порошкових сумішей, дисперсійний аналіз

### **Abstract**

The object of this study is the process of injection molding powder mixture "CATAMOLD 8740" manufactured by BASF, Germany. The main objective of the study is to determine the influence of parameters such as injection speed, holding pressure, the temperature of the mold, vacuum of the mold cavity, geometry of the injection gate. Calculating the influence of each parameter in percentage using statistical methods will help speed up the optimization process and increase the quality of the firearms components

**Keywords:** firearm components, powder injection molding, analysis of variants

Технологія інжекційного лиття порошкових сумішей має здатність забезпечити масове виробництво деталей значної складності з різноманітних сплавів, за помірною ціною та з великою точністю, що відіграє важливу роль у трансформації способів проектування та виготовлення деталей зброї. Виготовлення компонентів зброї займає не менше 7% від світового ринку технології лиття порошкових сумішей, що складає приблизно 1,5 мільярда доларів продажів [2]. Гнучкість технології лиття дозволяє виготовляти невеликі за розмірами компоненти значної складності, що дає змогу зменшити вагу деталі не знизивши її механічні властивості.

У даній роботі були досліджені наступні параметри лиття з використанням статистичного планування експерименту: швидкість впорскування, тиск витримки, температура прес-форми, геометрія точки впорскування, вакуумування. Вихідними параметрами, що визначають якість відливки є вага, розмірна точність, шорсткість поверхні [3]. В якості статистичного методу був використаний дисперсійний аналіз. За допомогою цього методу можливо відрізнити справжні зміни від хаотичних [1]. У результаті аналізу було отримано три вихідних параметра. По перше, значення впливу, яке показує вплив параметру на якість у процентному відношенні. По друге, значення  $\xi$ , яке є допоміжним для визначення третього значення  $P$  - яке показує статистичну значимість технологічного параметру. Значення  $P$  визначає можливість помилки експерименту. Для відокремлення важливих параметрів від хаотичних, значення  $P$  вибрано на рівні 10%. Тобто, кожний технологічний параметр значення  $P$  якого більше від 10% не впливає на вихідну якість відливки. Значення з рівнем від 0,1% до 10% важливий параметр та значення  $P$  з рівнем нижче від 0,1% критичний параметр.

Експеримент.

Для проведення дослідження використано термопласт автомат Power 50/200 фірми Engel, Австрія. Дана машина має силу стискання прес-форми 500 кН та оснащена інжекційним циліндром пристосованим для лиття порошкових сумішей з діаметром шнеку 25 мм. У якості тестового зразка використано деталь вагою 30 гр. з декількома отворами овальної форми. Точка впорскування знаходиться по середині деталі, товщина деталі 4 мм. На рис. 1 показано деталь після спікання.

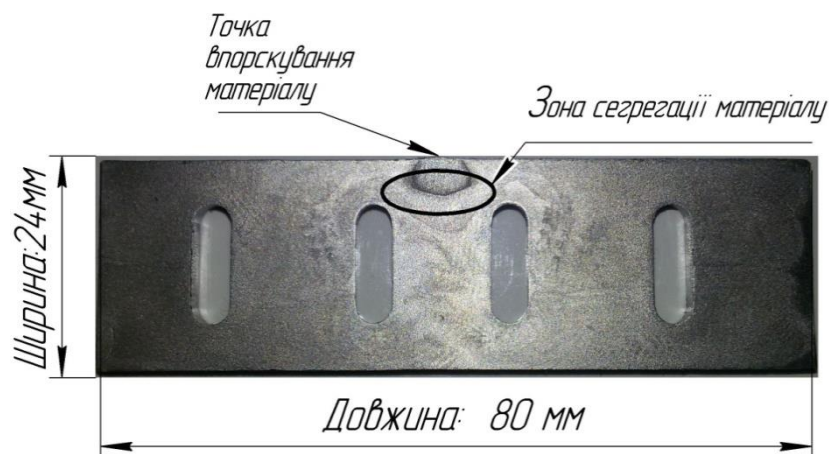


Рисунок 1 — Деталь після спікання

Фактори експерименту та їх рівні показані в таблиці 1.

Таблиця 1- Фактори експерименту

Фактор	Значення		
	-	0	+
Швидкість впорскування, см <sup>3</sup> /с	5	10	20
Тиск витримки, бар	100	800	1200
Температура прес-форми, °С	125	—	135
Геометрія точки впорскування	прямокутна	—	кругла
Вакуум	ні	—	так

Таблиця 2 – Хімічний склад

С %	Cr %	Mo%	Ni%	Fe %	С %
0.45-	0.4-0.6	0.25-	0.5-0.8	основа	0.45-

Таблиця 3 – Механічні властивості

Густина	>4.5 г/см <sup>3</sup>
Міцність на розрив	>520 МПа
Відносне видовження	> 8%
Твердість	190-210

Усі тестові зразки відлиті з матеріалу Catamold 8740 фірми BASF. Хімічний склад та механічні властивості матеріалу після спікання подані в таблиці 2 та 3. Видалення в'язучої речовини та спікання проведені в печах Elnik CD3045 та MIM 3045. Спікання відбувалось в інертній атмосфері азоту при температурі 1300°С протягом 90 хв. Після спікання проведені заміри розмірів, деформації, якості поверхні. Якість поверхні визначена як шорсткість, дефекти поверхні, а також сегрегація металевого порошку від в'язучої речовини. Після замірів, значення були проаналізовані за допомогою методу дисперсійного аналізу. В таблиці 4 показані результати аналізу для якості поверхні.

Таблиця 4 – Результати аналізу для якості поверхні

Фактор / взаємодія	Значення впливу,%	Значення – Р,%	Статистична важливість параметру
1	2	3	4
A Швидкість впорскування	15,68	2	Важливий
B Тиск витримки	1,28	54	Не важливий
C Температура форми	1,65	48	Не важливий
D Геометрія точки впорскування	34,84	0	Критичний

Продовження таблиці 4

1	2	3	4
E Вакуум	0,07	89	Не важливий
AC	7,52	13	Не важливий
AD	6,42	16	Не важливий
ACD	12,72	5	Важливий

Іншим показником якості є деформація форми деталі. На цей важливий параметр впливає тиск витримки та взаємодії тиск витримки, температура форми та швидкість впорскування, тиск витримки, геометрія точки впорскування (ABD) (таблиця 5).

Таблиця 5 – Дисперсійний аналіз деформації деталі

Фактор / взаємодія	Значення впливу, %	Значення – P, %	Статистична важливість параметру
A Швидкість впорскування	4,64	24	Не важливий
B Тиск витримки	9,82	8	Важливий
C Температура форми	1,18	55	Не важливий
D Геометрія точки впорскування	2,57	38	Не важливий
E Вакуум	0,11	86	Не важливий
BC	14,56	3	Важливий
ABD	12,46	5	Важливий
BDE	8.4	11	Не важливий
CDE	6.35	16	Не важливий

Найбільший вплив на деформацію деталі можливо досягти змінюючи одночасно тиск витримки та температуру форми. Деформацію деталі після спікання можливо знизити знизивши тиск витримки в комбінації з низькою температурою прес-форми (проте поки деталь проливається повністю).

Такі розміри як ширина деталі та довжина найбільш чутливі до тиску витримки. При великому тиску деталь після спікання має нижчий коефіцієнт усадки а тому збільшується у розмірах.

Як видно із таблиці 6 довжина деталі є в основному функцією від тиску витримки. Цей ефект сильніше чим менше відстань до точки впорскування. Біля точки впорскування тиск витримки має величину впливу 87% ( таблиця 7) тоді як на кінцях деталі вплив на ширину деталі знижується до 78,84% ( таблиця 8).

Таблиця 6 – Дисперсійний аналіз довжини деталі

Фактор / взаємодія	Значення впливу, %	Значення – P, %	Статистична важливість параметру
A Швидкість впорскування	2.51	38	Не важливий
B Тиск витримки	78.84	0	Критичний
C Температура форми	4.41	24	Не важливий
D Геометрія точки впорскування	3.96	28	Не важливий
E Вакуум	0.14	84	Не важливий
AB	2.09	44	Не важливий

Таблиця 7 – Дисперсійний аналіз ширини деталі біля точки впорскування

Фактор / взаємодія	Значення впливу, %	Значення – P, %	Статистична важливість параметру
A Швидкість впорскування	0,83	64	Не важливий
B Тиск витримки	86,55	0	Критичний
C Температура форми	1,39	52	Не важливий
D Геометрія точки впорскування	0,42	75	Не важливий
E Вакуум	0,5	70	Не важливий
AB	1.95	43	Не важливий
AD	2.07	42	Не важливий

Таблиця 8 – Дисперсійний аналіз ширини на кінцях деталі

Фактор / взаємодія	Значення впливу, %	Значення – P, %	Статистична важливість параметру
A Швидкість впорскування	2,51	38	Не важливий
B Тиск витримки	78,84	0	Критичний
C Температура форми	4,41	24	Не важливий
D Геометрія точки впорскування	3,96	28	Не важливий
E Вакуум	0,14	84	Не важливий
AB	2,09	44	Не важливий

Також можна помітити, що інші параметри такі як: швидкість впорскування, температура форми та геометрія точки впорскування – збільшили свій вплив на ширину деталі на кінцях. Даний ефект результат фізичних властивостей матеріалу. Теплопровідність та теплоємність

впливають на швидкість охолодження. Збільшена швидкість охолодження призводить до швидкого застигання відливки та збільшує градієнт тиску по довжині деталі від точки впорскування.

**Висновок.**

Це дослідження показує, що тиск витримки найбільш значимий параметр зі всіх. Також цей параметр може нівелювати дію інших параметрів, що важливо при низьких рівнях тиску та для деталей з маленькими точками впорскування. Зазначимо, що якість деталі можливо коригувати за допомогою параметрів лиття. При більших швидкостях впорскування якість поверхні відливки знижується, проте збільшується якість пролиття деталі. При збільшені температури форми спаювання потоків матеріалу покращується. Також дослідження показує зниження якості поверхні при використанні точки впорскування тонкої прямокутної форми, що пов'язано з сегрегацією порошку та в'язучого при збільшені швидкості здвигу. Тому для якісних деталей точка впорскування круглої форми є найбільш бажаною.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. Адлер Ю. П. Планування експерименту при пошуку оптимальних умов / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановський. – Наука, 1976. – 278с.
2. Nick Williams. Metal Injection Molding in firearms industry: A global perspective / Nick Williams, Powder Injection Molding, 2014.
- 3 Christian Knopfle. The influence of process parameters on the quality of Metal Injection Molded parts / Christian Knopfle, Marcko Maetzig, Hartmut Walcher, Powder Injection Molding, 2017.

***Писаренко Віктор Григорович***, доктор технічних наук, старший науковий співробітник, Казенне науково-виробниче об'єднання «Форт» МВС України, м. Вінниця, e-mail: siafort@ukr.net

***Завадюк С. В.***, Казенне науково-виробниче об'єднання «Форт» МВС України, м. Вінниця, e-mail: siafort@ukr.net

***Pisarenko Victor Grygorovich***, Sc. D., Senior Research Fellow, SO SIA «Fort», Vinnitsya, e-mail: siafort@ukr.net

***Zavadyuk S. V.***, SO SIA «Fort», Vinnitsya, e-mail: siafort@ukr.net