

Технологія лазерної розмірної обробки

Презентація 5 (лекції 11-12)
електронний дидактичний демонстраційний матеріал
супроводження дисципліни

ММІ, каф. ЛТФТТ, IVкурс VII семестр
(36 годин лекційний курс, 36 годин лабораторних занять, 180 години із СРС)
5 кредитів

Рекомендовано Методичною радою НТУУ «КПІ» про (протокол №7 від 27 березня 2014 р.) (свідоцтво НМУ № Е13/14-061)

Автор: проф. Котляров В.П.

Лекція 11. Тема 5. Методи визначення режиму лазерної обробки порожнини (подовження)

5.3. Дослідження та моделювання операцій ЛРО

експериментальними методами

Обмежені можливості і недостатня точність визначення режимів або передбачення результатів обробки за аналітичними залежностями визначають актуальність розробки **емпіричних методів** вибору оптимальних режимів обробки порожнин заданих розмірів і форми. Ці методи ґрунтуються на математичній обробці результатів експериментів (найчастіше за методом найменших квадратів (МНК)), виконаних за тією або іншою стратегією.

Стратегія експериментальних досліджень процесу лазерної обробки для конкретної технологічної операції визначається **метою**, що досягається при їх виконанні, наприклад, - для **вивчення фізичної суті процесу** в різних режимних діапазонах його реалізації, коли необхідний **аналіз ефективності діяння кожного чинника окремо**, застосовується **одно - факторна стратегія експерименту**, що дозволяє виявити характер і рівень відгуків (результатів) процесу обробки на його збудження окремим чинником при незмінних рівнях інших. Результати таких досліджень можуть бути інтерпретовані фізично, а також можуть визначати напрям і міру діяння на процес при коректуванні його результатів.

Якщо ціллю експериментальних досліджень є **технологічне забезпечення процесу обробки**: **моделювання** для оптимізації її режимів, **створення програмного забезпечення систем автоматичного керування процесом обробки**, то необхідна інша стратегія, що дозволяє за короткий час отримати для цього **необхідну кількість моделей**, які гарантовано адекватно описують процес у відношенні до **усіх нормованих показників (результатів) операції**. Така методика розроблена в теорії експерименту і заключається в **багато факторному впливу** на процес при переході між іспитами в експерименті (повно -, або багато - факторний експеримент (ПФЕ або БФЕ)).

Тема 5. Методи визначення режиму лазерної обробки порожнини (подовження)

5.3. Дослідження та моделювання операцій ЛРО експериментальними методами

5.3.1. Однофакторні дослідження

В результаті такої організації експерименту вплив кожного з чинників (факторів), що беруть участь в іспиті, оцінюють, задаючи ряд певних фіксованих його значень. Інші фактори фіксують на певних рівнях, незмінних під час варіювання досліджуваного. Отримані таким чином залежності зображено на рис. 5.7 та 5.8.

Зміна глибини порожнини залежно від рівнів фіксованих факторів при зміні рівнів одного з них (рис 5.7) має різний характер. Математична обробка результатів, оформлених графічно, дозволяє одержувати моделі процесу, що мають, наприклад, наступний вигляд (для порожнин в бронзі БрКМц-1 за умови концентрації випромінювання на поверхню заготовки (рис 5.7а, б)):

$$h = 0,53 \cdot \tau^{0,83}$$

$$h = 0,275 \cdot E^{0,8} \cdot \tau^{-0,4} \cdot F^{0,45}$$

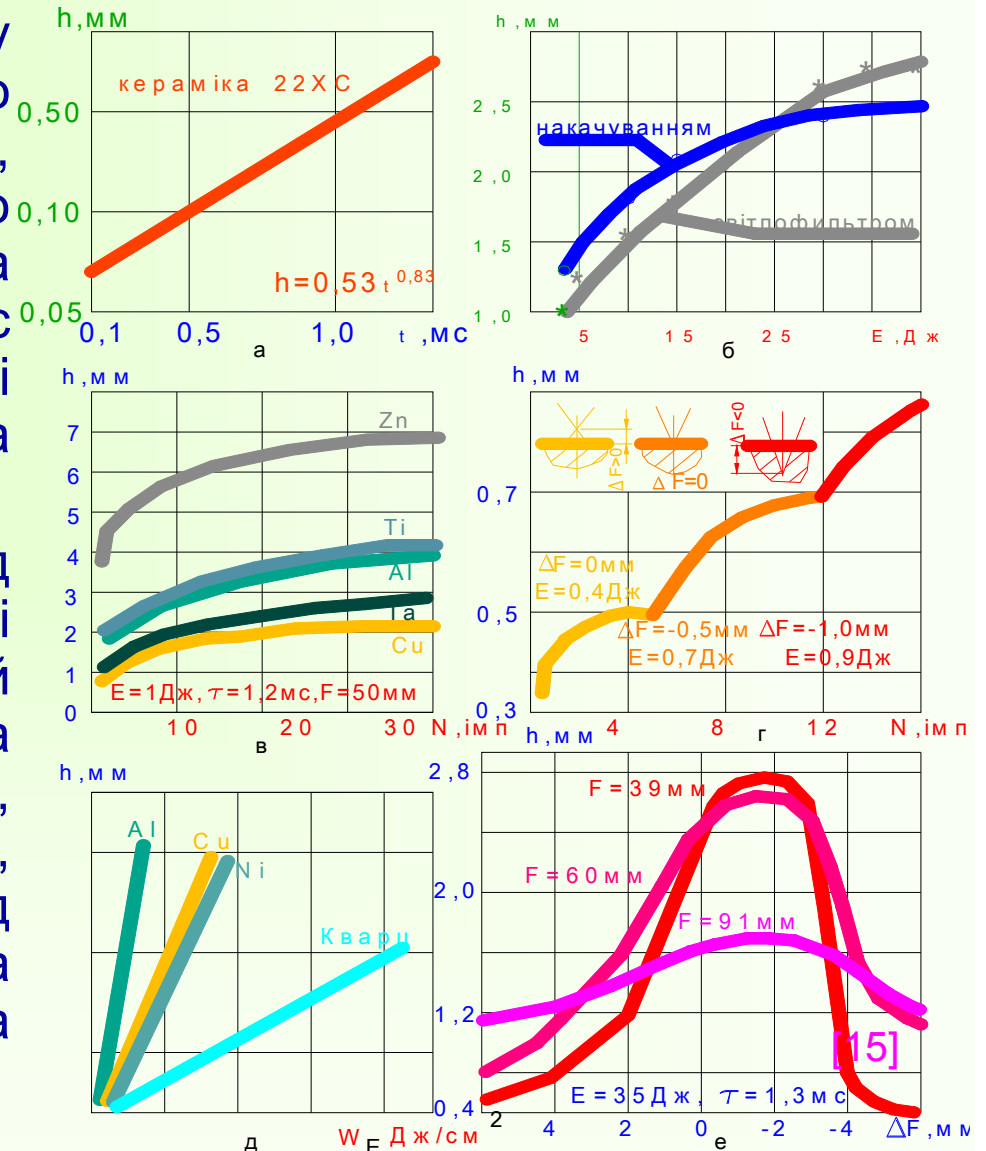


Рис.5.7. Результати однофакторних експериментів впливу факторів процесу лазерної обробки на глибину порожнини

Тема 5. Методи визначення режиму лазерної обробки порожнини (подовження)

5.3. Дослідження та моделювання операцій ЛРО експериментальними методами

5.3.1. Однофакторні дослідження

Для поперечних розмірів порожнини (рис 5.8) залежність має вигляд:

З аналізу експериментальних даних (рис. 5.7 та 5.8) можна зробити декілька важливих висновків з точки зору керування розмірною обробкою порожнин:

- розмірні показники обробленої порожнини визначаються всіма параметрами при різному характері їх діяння (τ, E, N, F, W_E, W_p);
- глибина порожнини при управлінні його більшістю параметрів має фізичну межу внаслідок зниження гостроти фокусування пучка випромінювання на дні порожнини у міру її поглиблення;
- при концентрації енергії пучка випромінювання углуб оброблюваної заготовки (до 20% від її товщини) досягається деяке поглиблення порожнини (на 15%) і зменшення розміру її вхідної частини (на 10%);
- взаємозв'язок між параметрами пучка призводить до того, що на розмірні характеристики оброблюваної порожнини впливає не лише рівень фактору, а і засоби його досягнення (рис. 5.7б, 5.8а).

$$d = 4,72 \cdot \frac{\lambda}{D} E^{0,4} F$$

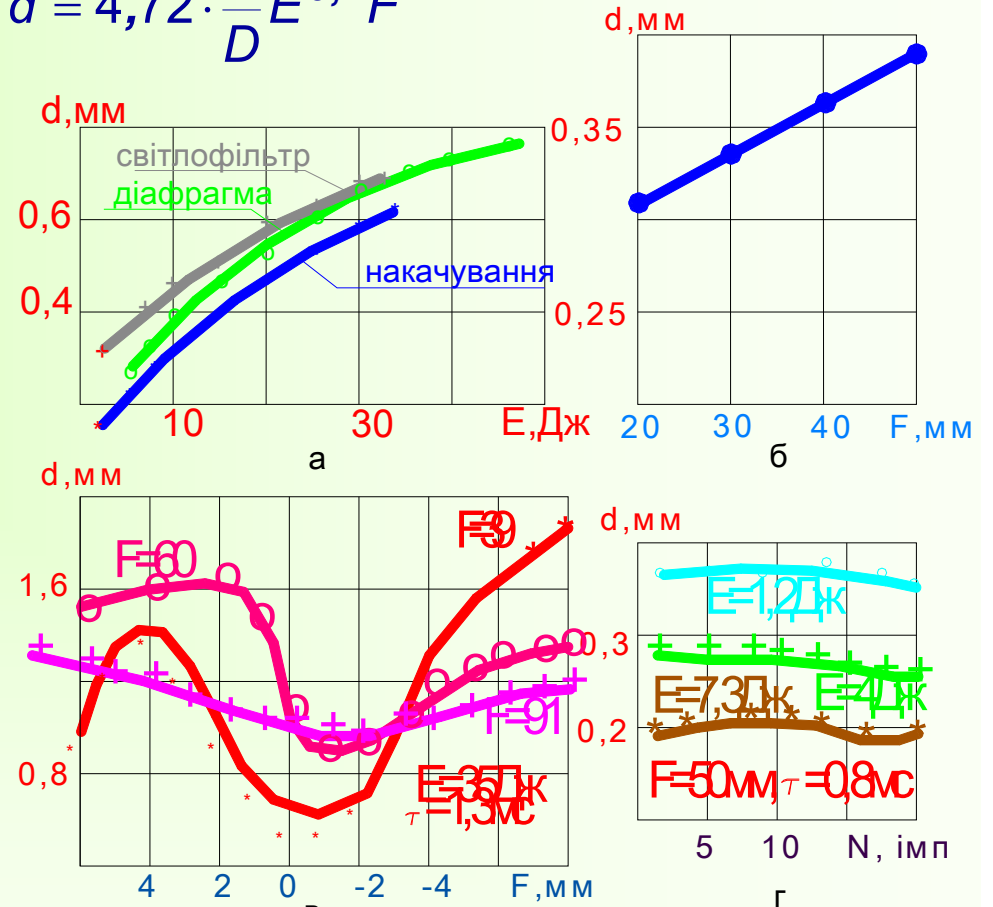


Рис.5.8 Результати однофакторних експериментів впливу факторів процесу лазерної обробки на геометричний розмір порожнини

$$d = (1 - e^{-k'd_0}) \left[(k_1 F - b_1) \tau^2 + (k_2 F + b_2) \tau + (k_3 F + b_3) \right] U + (k_4 F + b_4) \tau^2 + (k_5 F + b_5) \tau + k_6 F + b_6 \quad 4$$

Тема 5. Методи визначення режиму лазерної обробки порожнини (подовження)

5.3. Дослідження та моделювання операцій ЛРО експериментальними методами

5.3.2. Багатофакторне планування експерименту

По методиці повнофакторного експерименту (ПФЕ) [1], [2], [3]. [4] можлива оптимізація процесу досліджень як відносно точності передбачення результатів, так і по рівню матеріальних і часових витрат, проте, достовірність одержуваних результатів гарантується лише в області реалізації експерименту (область визначення керованих факторів). Фізичні моделі і моделі однофакторного планування більш універсальні і справедливі в деякій області за межами факторного простору.

Переваги ПФЕ проявляються за умови коректної його реалізації, що досягається при виконанні деяких початкових передумов [3], [4], які забезпечуються методикою організації експерименту і контролюються під час його здійснення:

- розмірні результати лазерної обробки є випадковими, нормально розподіленими величинами;
- об'єкт, що досліджується, є керованим, що перевіряється за умови однорідності дисперсій результатів, одержаних в повторних дослідженнях;
- методика керування рівнями параметрів, що змінюються в експериментах, повинна забезпечувати їх параметричне (незалежно від рівнів решти факторів) та з кроком Δ , який перевищує похибку їх налагодження 3 :

$$\Delta x_i > 3S_x$$

Примітка: для задоволення першої передумови розмірі ряди вихідних величин можуть бути перетворені в їх функції, наприклад, $y' = 1/y$; $y' = (y)^{0,5}$; $y' = \ln y$ або інші, з побудовою відповідних моделей типу: $1/y = f(x_i)$; $(\ln(y)) = f(x_i)$.

Тема 5. Методи визначення режиму лазерної обробки порожнини (подовження)

5.3. Дослідження та моделювання операцій ЛРО експериментальними методами

5.3.2. Багатофакторне планування експерименту

Із алгоритму ПФЕ (рис. 5.9.) видно, що у процедурі досліджень не виключена можливість отримання негативних результатів але для виходу з яких передбачені шляхи, тобто в алгоритмі не буває тупикових ситуацій, і при кожному від'ємному результаті (отримання неадекватної моделі процесу) пропонується **змінити (ускладнити) нульову гіпотезу** з наступним повторенням етапів алгоритму досліджень.

Особливістю застосування методики є **безперечна участь усіх параметрів процесу (факторів) в експерименті**. Це створює формальну неможливість її використання для більшості об'єктів внаслідок нереального об'єму досліджень, кількість іспитів в яких дорівнює $N = m^n$ (де: m – кількість рівнів варіювання факторів, n – їх кількість), що може досягати >3486784401 (3^{20}).

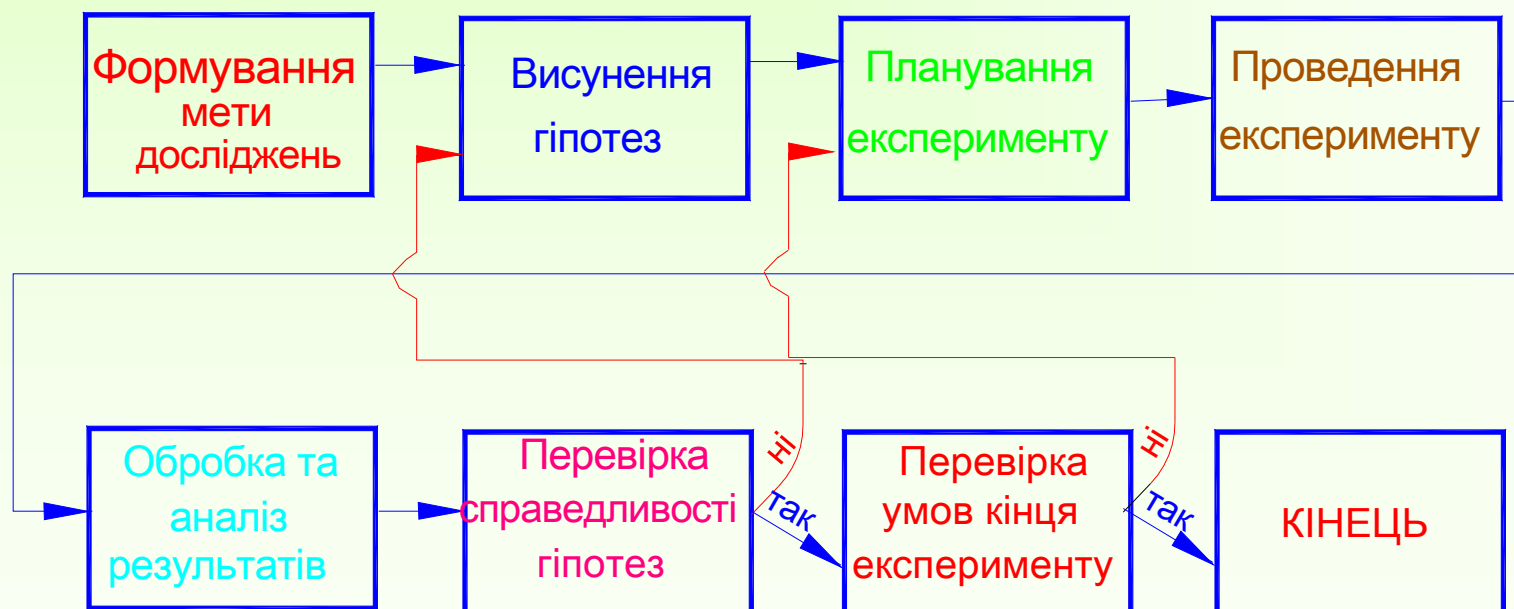


Рис.5.9. Алгоритм дослідження процесу лазерної обробки за методикою ПФЕ (БФЕ)

Тема 5. Методи визначення режиму лазерної обробки порожнини (подовження)

5.3. Дослідження та моделювання операцій ЛРО експериментальними методами

5.3.2. Багатофакторне планування експерименту Стратегія досліджень

Виходячи з табл. 3.1 на результати лазерної розмірної обробки роблять вплив чотири групи факторів:

- параметри пучка лазерного випромінювання;
- умови опромінення оброблювальної заготовки;
- розміри та форма заготовки;
- властивості її матеріалу.

Їх загальна кількість перевищує 20, тому для побудови нелінійної моделі процесу з урахуванням особливості застосування ПФЕ, а також при умові 3-х кратної повторності кожного іспиту для надання результатам статистичних властивостей необхідна нереальна кількість експериментів. Тому процедуру моделювання виконують за два етапи.

1 етап (передпланування експерименту) – аналіз значущості впливу керуємих факторів на досліджуєми показник процесу обробки для визначення об'єму факторного простору із найбільш впливових параметрів.

Для побудови рангових діаграм впливу факторів на кожний із показників бажано спростити методику експерименту, скорочуючи час і вартість дослідів. Найбільш відомими методиками, вживаними для дослідження значимості чинників, є:

- дисперсійний аналіз (повна або дрібна класифікації);
- метод випадкового балансу (наднасичені плани);
- насичені плани (Плакетта-Бермана, Вучкова і симплекс плани);
- комбінаторний аналіз.

Тема 5. Методи визначення режиму лазерної обробки порожнини (подовження)

5.3. Дослідження та моделювання операцій ЛРО експериментальними методами

5.3.2. Багатофакторне планування експерименту Стратегія досліджень

- **Дисперсійний аналіз:** вплив кожного з факторів оцінюється за зміною дисперсії досліджуваного показника при зміні рівнів фактору; в будь-якому виконанні (повнофакторний або дрібнофакторний) громіздкий і складний в обробці результатів. Хоча використання дрібнофакторних планів зменшує об'єм експерименту, їх чутливість зменшується, тому можна виділити лише сильнодіючі чинники.
- **Метод випадкового балансу** може використовуватися для аналізу процесів, на які надає вплив велика кількість факторів, серед яких лише невелика частина діє значимо. Тоді в результаті виконання експерименту з кількістю іспитів, яка суттєво менша загальної кількості факторів, але не менша їх значимої частини, можна побудувати рангову діаграму не тільки для лінійних ефектів для них, але і для парних взаємодій.
- Кожний з *насичених планів* має об'єм експерименту рівний кількості досліджуваних ефектів, яка визначається видом постульованої моделі, і для реальної кількості факторів суттєво (в декілька разів) збільшується внаслідок наявності ефектів взаємодій (від парних до n). Якщо враховувати лише діяння лінійних ефектів від кожного фактору, то вони будуть змішані з ефектами взаємодій, що може привести до помилкових висновків.
- **Комбінаторний аналіз** за багатофакторними планами Бродського, які у відмінність від згаданих вище можуть бути несиметричними та нерівномірними, але регулярними, дозволяє з **найменшим числом іспитів** досліджувати процес з врахуванням попередньої апріорної інформації про міру впливу чинників, передбачаючи при цьому деяку вибірку над насиченість планів.

Тема 5. Методи визначення режиму лазерної обробки порожнини (подовження)

5.3. Дослідження та моделювання операцій ЛРО експериментальними методами

5.3.3. Аналіз значимості впливу факторів процесу на його розмірні результати

1. Класифікація факторів, що впливають на процес, за керованістю:

А. Параметри, які можуть варіюватися на кількох рівнях протягом експерименту:

- a) енергія імпульсу випромінювання E , Дж;
- b) тривалість опромінення t ($t = \tau$ для імпульсного режиму опромінення);
- c) кут розбіжності пучка випромінювання θ , рад;
- d) розподіл інтенсивності випромінювання в попереку пучка випромінювання;
- e) параметри перетворення пучка випромінювання оптичною системою $(F, \Delta F)$, мм;
- f) оптичні, теплофізичні та механічні властивості матеріалу заготовки;
- g) розміри заготовки (товщина оброблювальної стінки δ , мм).

Примітка: деякі показники можуть бути виражені лише якісно (пп. d, f) внаслідок неможливості їх параметричного змінення: для таких використовуються числові шкали (0, 1).

В. Параметри, які можна лише контролювати протягом експерименту:

- a) довжина хвилі випромінювання λ , мкм;
- b) часові параметри піркової структури (τ_s, t_s та інші)

Ці фактори повинні утримуватися протягом експерименту на обраному незмінному рівні

Таким чином, усього сім чинників, що керовано впливають на процес обробки:

- п'ять кількісних;
- два якісних.

Тема 5. Методи визначення режиму лазерної обробки порожнини (подовження)

5.3. Дослідження та моделювання операцій ЛРО експериментальними методами

5.3.3. Аналіз значимості впливу факторів процесу на його розмірні результати

2. Формування факторного простору та постулювання математичної моделі

Якщо використовувати **регулярний симетричний план** з 5 факторами з варіюванням їх на трьох рівнях (модель другого порядку) та з 2 (якісних) – на двох рівнях кожний і з трьома повторностями в кожній точці експериментального плану ($n_u=3$), то **кількість експериментів** буде дорівнювати:

$$N = (3^5 + 2^2) \times 3 = 2916.$$

Експериментальні плани, які розроблено **Бродським** [4], можуть бути несиметричними та нерівномірними, але регулярними, що дозволяє враховувати апріорну інформацію про об'єкт досліджень, наприклад, експериментальні дані з рис. 5.7 та 5.8 для уточнення меж та виду факторного простору, в якому виконується експеримент (кількісно та якісно). Тоді модель поліноміального виду:

$$y = \sum_{i=1}^k b_{1\alpha 2\beta \dots} k_{\omega} x_1^{\alpha} x_2^{\beta} \dots x_i^{\delta} \dots x_k^{\omega},$$

може бути спрощена, враховуючи вид залежностей рис. 5.7 та 5.8 (порядок впливу деяких факторів), та їх взаємний вплив на розмірні та якісні показники процесу обробки:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i=1}^n b_{ij} x_i^2 + \sum_{i=2}^k b_{1i} x_1 x_i$$

(де: $b_{i(1\dots k)}$ – коефіцієнти регресії моделі; $x_{i(1\dots k)}$ – k факторів, що керуються та варіюються на рівнях $\alpha, \beta, \delta, \dots, \omega$; y – технологічний показник процесу, який досліджується ($i = 1, 2, \dots, n \dots k$ ($k=7$), $i \neq 0, 1 \dots n$ ($n = 3$) – кількість факторів з нелінійними ефектами ($E, \Delta F, \delta$)).

Тема 5. Методи визначення режиму лазерної обробки порожнини (подовження)

5.3. Дослідження та моделювання операцій ЛРО експериментальними методами

5.3.3. Аналіз значимості впливу факторів процесу на його розмірні результати

Таблиця 5.4.

Для обраної моделі, яка має 17 членів, можна використати табличний компромісний план №59 [4], потужність якого W достатня для її побудови. В табл. 5.4. наведено вихідний план $3^5//27$ та план, перетворений шляхом розщеплення трьох рівневих факторів F_4 та F_5 - кожний на два дворівневі X_4 і X_5 та X_6 і X_7 : $3^3 \times 2^4//27$

Рівні F_i	X_i	X_{i+1}
0	0	0
1	0	1
2	1	0

Вихідний план $3^5//27$					Перетворений план $3^3 \times 2^4//27$						
F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1
1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	1
2	1	0	1	1	2	1	0	0	1	0	1
0	2	0	2	2	0	2	0	1	0	1	0
1	2	0	2	2	1	2	0	1	0	1	0
2	2	0	2	2	2	2	0	1	0	1	0
0	0	1	1	2	0	0	1	0	1	1	0
1	0	1	1	2	1	0	1	0	1	1	0
2	0	1	1	2	2	0	1	0	1	1	0
0	1	1	2	0	0	1	1	1	0	0	0
1	1	1	2	0	1	1	1	1	0	0	0
2	1	1	2	0	2	1	1	1	0	0	0
0	2	1	0	1	0	2	1	0	0	0	1
1	2	1	0	1	1	2	1	0	0	0	1
2	2	1	0	1	2	2	1	0	0	0	1
0	0	2	2	1	0	0	2	1	0	0	1
1	0	2	2	1	1	0	2	1	0	0	1
2	0	2	2	1	2	0	2	1	0	0	1
0	1	2	0	2	0	1	2	0	0	1	0
1	1	2	0	2	1	1	2	0	0	1	0
2	1	2	0	2	2	1	2	0	0	1	0
0	2	2	1	0	0	2	2	0	1	0	0
1	2	2	1	0	1	2	2	0	1	0	0
2	2	2	1	0	2	2	2	0	1	0	0

В табл.5.5. наведено кодові позначення факторів та межі експерименту в натуральних та кодових величинах.

Тема 5. Методи визначення режиму лазерної обробки порожнини (подовження)

5.3. Дослідження та моделювання операцій ЛРО експериментальними методами

5.3.3. Аналіз значимості впливу факторів процесу на його розмірні результати

Таблиця 5.5

Для обмеження факторного простору вибрані межі зміни рівнів чинників, найчастіше використовувані при БІО. Так, $E = 4-9$ Дж, $\tau = 400-600$ мкс; $\delta = 0,5-3,0$ мм використовують лінзи з $F = 50-100$ мм при розташуванні поверхні заготовки із зсувом $\Delta F = \pm 1,5$ мм. При діаметрі пучка випромінювання $D = 9$ мм, обмеження його діафрагмою з поперечним розміром $D_{\partial} = 7$ мм повністю «обрізає» його периферійну зону з низькою інтенсивністю. Для оцінки значимості впливу матеріалу (його теплофізичних властивостей) в експерименті застосовуємо два (рівні 0 і 1) матеріали, що відрізняються за властивостями:

- жароміцна сталь – з низькою теплопровідністю і високою тепловою стійкістю (рівень «0»));
- алюмінієвий сплав, що має контрастні характеристики (рівень (1)).

№ п/п	Найменування факторів	Рівень X_i	Код x_i
1.	Імпульсна енергія E , Дж	4	0
		6,5	1
		9	2
2.	Зміщення з площини перетину каустики ΔF , мм	-1,5	0
		0	1
		+1,5	2
3.	Товщина заготовки δ , мм	0,5	0
		2,0	1
		3,0	2
4.	Фокусна відстань лінзи F , мм	50	0
		100	1
5.	Діаметр діафрагми D_{∂} , мм	7	0
		—	1
6.	Тривалість імпульсу τ , мс	440	0
		620	1
7.	Матеріал заготовки	18X2H4BA	0
		Д16Т	121

Лекція 12. Тема 5. Методи визначення режиму лазерної обробки порожнини (подовження)

5.3. Дослідження та моделювання операцій ЛРО експериментальними методами

5.3.3. Аналіз значимості впливу факторів процесу на його розмірні результати

3. Виконання експерименту та статистична перевірка передумов ПФЕ і достовірності його результатів.

- експерименти (в тому числі і повторні) виконуються в рандомізованому (випадковому) порядку для рівномірного розподілу помилки експерименту між окремими іспитами;
- експериментальну базу даних (оброблені отвори, пази, щілини) необхідно обміряти за показниками, на які встановлено в ТЗ на технологічну операцію, виконати статистичну обробку замірів відносно числових показників випадкових величин:

$$\bar{d} = \sum_i^{n_u} d_i / n_u ; D_{d_u} = (d_i - \bar{d})^2 / (n_u - 1).$$

- за критеріями згоди виконати перевірку передумов ПФЕ для кожного показника та в кожному іспиту та досягти потрібного їх рівня функціональним перетворенням показників;
- розрахувати та перевірити на значущість коефіцієнти регресії $b_0; b_j; b_{ij}; b_{ij};$ відсіяти незначущі, з перерахунком рівнів тих, що залишилися (якщо експериментальні плани не ортогональні);
- виконати перевірку адекватності одержаної та відредагованих моделей за критерієм Фішера F , та в разі негативних результатів перейти до початку алгоритму відповідно до рис. 5.9.

Тема 5. Методи визначення режиму лазерної обробки порожнини (подовження)

5.3. Дослідження та моделювання операцій ЛРО експериментальними методами

5.3.3. Аналіз значимості впливу факторів процесу на його розмірні результати

4. Рангові діаграми розмірних характеристик отворів

Для розмірного опису наскрізних отворів можна використати його діаметри зі сторони опромінення D та виході із заготовки d . Для цих показників отримані такі моделі:

$$D=697+91x_1+25x_2-8x_4+10x_5-32x_6+27x_7+4x_1^2+61x_2^2-27x_3^2+38x_1x_3+12x_1x_4-11x_1x_5-16x_1x_6+21x_1x_7;$$
$$d=462+91x_1-46x_2+34x_3+35x_4-20x_5-27x_7-11x_1^2+18x_3^2-51x_1x_2+78x_1x_3+10x_1x_4-6x_1x_5+13x_1x_7.$$

Враховуючи, що моделі побудовані у вигляді функцій з безрозмірними аргументами – рівнями факторів x_i – їх коефіцієнти регресії b_i мають однакову розмірність – ту, яку мають функції, тобто в цих прикладах – мкм. Таким чином, вони можуть служити відносною мірою ефективності діяння “свого” аргументу, тобто відповідного фактору або їх комбінацій. Коефіцієнти у аргументів у першому ступені характеризують лінійні ефекти, тобто тенденції змінення функції при впливі на рівень аргументу. Коефіцієнти при степеневих аргументах характеризують не лінійність функції, а при їх комбінаціях (по два, три і більше) – вплив взаємодії факторів тобто комбінації їх рівнів. На рис. 5.10 зображено рангові діаграми впливу керуємих факторів на розміри попереку отворів D і d , а також глибини ненаскрізних h^4

Тема 5. Методи визначення режиму лазерної обробки порожнини (подовження)

5.3. Дослідження та моделювання операцій ЛРО експериментальними методами

5.3.3. Аналіз значимості впливу факторів процесу на його розмірні результати

Для здобуття більшого об'єму інформації при обробці ненаскрізних порожнин (режим мікрофрезерування, різання пазів, виточок і ін.) застосовано експерименти на масивний зразок завтовшки, більшої глибини порожнини, із одного з матеріалів, які досліджені в попередньому іспиті, і введено кількість імпульсів (N), як керований фактор. У табл.5.6 показано їх кодування і межі факторного простору: рівні факторів декілька розширені для збільшення значень показника h . З урахуванням даних першого експерименту планування виконане за D -композиційним планом *Бокса* на кубі з ядром 2^4 [4] із зоряними плечима $\alpha = \pm 2$.

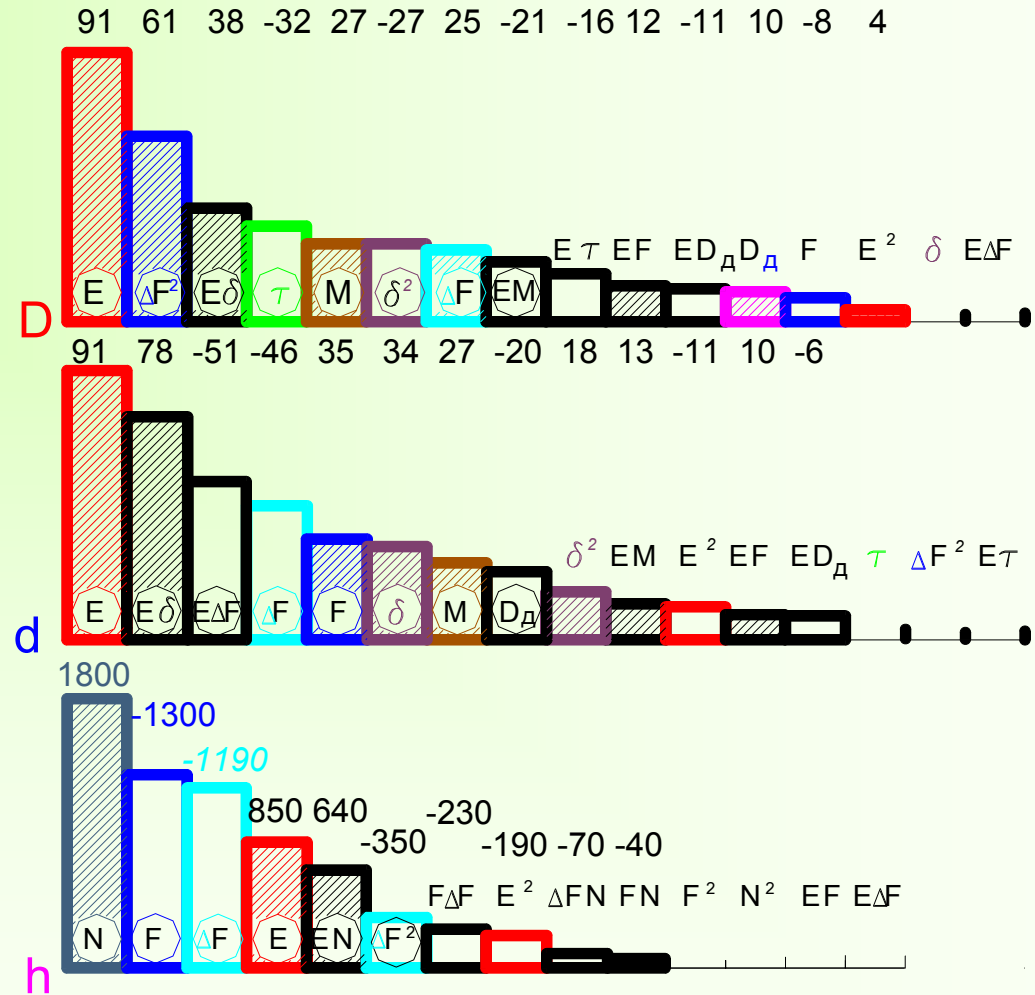


Рис.5.10. Рангові діаграми керуємих факторів лазерної обробки по впливу на розмірні показники порожнин

Тема 5. Методи визначення режиму лазерної обробки порожнини (подовження)

5.3. Дослідження та моделювання операцій ЛРО експериментальними методами

5.3.3. Аналіз значимості впливу факторів процесу на його розмірні результати

Таблиця 5.6

Модель процесу обробки у відношенні до глибини не наскрізного отвору в кодовому запису рівнів факторів та умов експерименту табл. 5.6 має вигляд:

$$h = 4690 + 850x_1 - 1300x_2 - 1190x_3 + 1800x_4 - 190x_1^2 - 350x_3^2 + 640x_1x_4 - 230x_2x_3 - 40x_2x_4 - 70x_3x_4$$

Під час проектування режимів обробки технологічної операції рангові діаграми послугують зменшенню об'єму іспитів шляхом виключення факторів, які менш значимо впливають на показник із активної частини експерименту, фіксуючи їх рівні на час його виконання і реалізації одержаних моделей, причому обрані рівні повинні сприяти досягненню заданих результатів.

№ п/п	Найменування факторів	Рівень X_i	Код x_i
1	Імпульсна енергія E , Дж	30	2
		26	1
		22	0
		18	-1
		14	-2
2	Фокусна відстань F , мм	90	2
		80	1
		70	0
		60	-1
		50	-2
3	Зміщення з площини перетину каустики $?F$, мм	+4	2
		+2	1
		0	0
		-2	-1
		-4	-2
4	Кількість імпульсів N , шт..	9	2
		7	1
		5	0
		3	-1
		1	-2
5	Діафрагма	немає	0
6	Тривалість імпульсу	2мс	0
7	Матеріал заготовки	18X2H4BA	16 0

Тема 5. Методи визначення режиму лазерної обробки порожнини (подовження)

5.4. Проектування режимів ЛРО. Одно критеріальні задачі

2 етап (планування експерименту)

Формування мети експериментальних досліджень

На другому етапі режимного забезпечення операції лазерної розмірної обробки методами ПФЕ **може бути виконано** економічне (за часом і затратами) проектування в обмеженому факторному просторі з метою:

- **оптимізація режимів реалізації процесу обробки в технологічній операції за однією з двох градієнтних методик:**
 - **метод крутого сходження** (Бокса – Уілсона) [4], який полягає в наступному: виконується експеримент 2^n для побудови лінійної моделі показника, за коефіцієнтами якої визначається напрямок його градієнту і вздовж нього виконується кроки: по черзі - експериментальні та розрахункові - до досягнення найкращого (заданого) рівня показника;
 - **симплекс метод**, який виконується шляхом **перекидання спеціальної фігури** (тіла), яка має $n+1$ вершин (координат виконання дослідів в експерименті), розташованих по три (поза лінією) в кожному плоскому перетині факторного простору; **напрямок руху симплексу** навколо градієнту показника, для якого необхідно досягти оптимуму, що досягається внаслідок його обертання навколо ребра (грані), що з'єднує вершини симплексу з найменшими рівнями показника після виконання кожного дослідів в координатах нового розташування вершини; пошук закінчується після **повного оберту симплексу** навколо однієї з вершин.
- **моделювання процесу обробки в операції, що проектується, відносно заданого показника з метою:**
 - проектування ряду операцій з різними рівнями заданого показника;
 - оптимізації режимів виконання технологічної операції за отриманою моделлю процесу обробки;
 - керування процесом обробки в системах автоматизованого управління (ОАУ) технологічної операції або за адаптивної її організації.