

температурі і реакції його розкладання є необоротними, що вигідно відрізняє його від крейдо-графітової суміші при використанні в надливах тонкостінних виливків з малою тривалістю твердіння. Проте, для крупних сталевих виливків з великою тривалістю затвердіння найбільш прийнятним представляється використання в якості газоутворюючої речовини крейдо-графітової суміші.

Література:

1. Селиверстов В.Ю. Разработка, исследование и моделирование процесса газодинамического вытеснения расплава из литниково-питающей системы в отливку: Дис. канд. техн. наук: 05. 16.04. – Киев, 2000. – 111 с.
2. Ладыжевский Б.Н., Тунков В.П. Технология изготовления стальных отливок. – М.: Машгиз, 1958. – С.96–97.
3. Ростовцев С.Г. Теория металлургических процессов. – М.: Металлургия, 1956. – 515 с.
4. Василевский П.Ф. Технология стального литья. – М.: Машиностроение, 1974. – 408 с.

Соколан Ю.С., Соколан К.С.

(Хмельницький національний університет, м. Хмельницький)

**ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ ТАГУЧІ З МЕТОЮ ОПТИМІЗАЦІЇ
РЕЖИМІВ ЛАЗЕРНОГО РІЗАННЯ НЕРЖАВІЮЧОЇ СТАЛІ**

E-mail: sokolan.julia@gmail.com

На сьогоднішній день лазерне різання знайшло широкого застосування у сферах автомобілебудування, суднобудування та в інших галузях промисловості, в яких відбувається процес різання алюмінію, низьколегованої та нержавіючої сталі. На вибір лазерної системи для процесу різання вагомий вплив мають такі критерії, як досягнення високих швидкостей різання та максимізації продуктивності виробництва, завдяки якій можна досягнути високої якості прорізу та виключити необхідність проведення повторної обробки деталей. Підвищення ефективності

процесу лазерного різання, а також його гнучкості та якості дозволяють знизити витрати на виробництві.

Механічна обробка нержавіючої сталі пов'язана із рядом складнощів, які, в свою чергу, обумовлені властивостями матеріалу. Тому одним із найбільш ефективних методів оброблення нержавіючої сталі є лазерне різання. Якість виготовлених деталей нерозривно пов'язана із режимами різання.

Метод Тагучі – це статистичні методи, метою яких є поліпшення якості виготовлених деталей. Ці методи набули поширення для поліпшення якості виготовлених деталей в техніці та біотехнології [1]. За методом Тагучі пропонується системний та достатньо простий підхід до оптимізації продуктивності на виробництві. Основною метою застосування цього методу є підвищення якості продукції, незалежно від сфери її застосування, або ж мінімізації варіацій продуктивності та процесів досягнення цільових показників ефективності.

Для отримання експериментальних результатів використовувався верстат Smart 3015 [2]. Дослідження проводились для процесу лазерного різання деталей із товстолистового металу. Параметрами досліджень за методом Тагучі були обрані зона термічного впливу (ЗТВ), середня шорсткість поверхні (R_a) та глибина прорізу (t_a). В якості контрольних змін за методом Тагучі були обрані швидкість різання (см/хв), потужність лазера (Вт), тиск газу (МПа) та частота лазера (Гц).

Експериментальні дослідження проводились на пластинках, виготовлених із матеріалу 08X16H11M3, ширина і довжина яких становили 50 мм, а товщина – 3 мм (рис. 1, а). У пластинках лазером робився розріз, в якому після проведення прорізу вимірювалась ширина прорізу, шорсткість на поверхні прорізу та ЗТВ (рис. 1, б).

На основі отриманих експериментальних даних за методом Тагучі було побудовано відповідні ортогональні масиви. Змінними виступають швидкість різання (X1), частота (X2), тиск газу (X3) та потужність лазера (X4). Також досліджується три взаємодії – X1 та X4, X3 та X1, X1 та X2. Після цього отримані експериментальні значення піддавались дисперсійному аналізу, що є обов'язковим етапом використання методу Тагучі [1, 3].

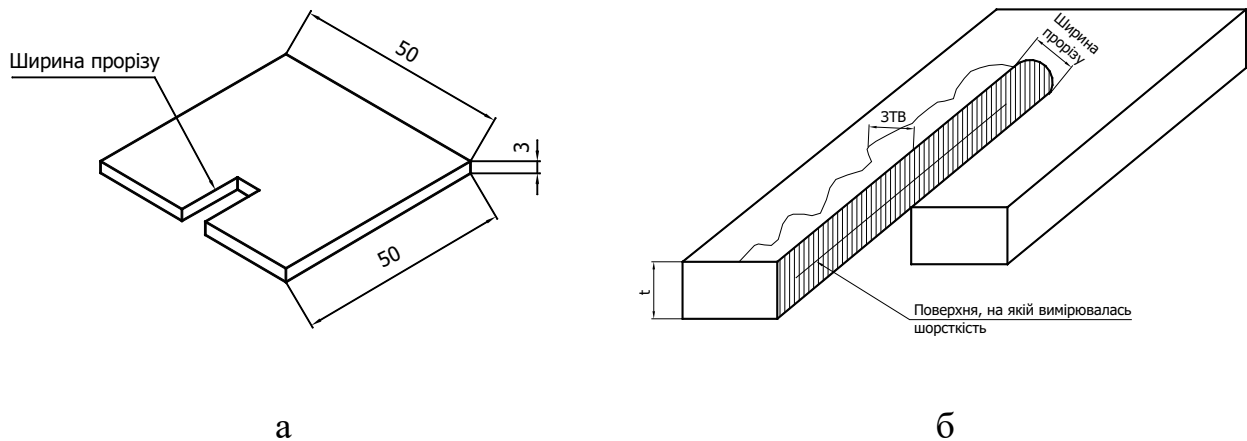


Рис. 1. Зразок для проведення дослідження: а – розміри зразка; б – вимірювання елементів прорізу

Результати дисперсійного аналізу шорсткості, зони термічного впливу та відхилення геометричної форми прорізу наведено в табл. 1-3. Як видно з табл. 1-3 в процесі лазерного різання найбільший вплив на характеристики шорсткості, відхилення геометричної форми (конусність прорізу) та ЗТВ має параметр Х4, який відповідає потужності лазера. Параметр Х4 має 80-90 % впливу. Близько 10 % впливу має параметр Х3, який відповідає тиску газу при виконанні лазерного різання нержавіючої сталі.

Таблиця 1 – Дисперсійні аналіз відхилення геометричної форми (конусності)

Параметр різання	Варіативне співвідношення			P	SS	VV	F	DOF
	1	2	3					
X1 (швидкість різання)	55,5	46,2	39,1					2
X2 (частота)	53,8	43,7	43,4					2
X3 (тиск газу)	26,9	51,9	62,1	11,61	72,7	36,39	10,88	2
X4 (потужність лазера)	2,45	41,5	96,9	79,86	500,9	250,4	74,88	2
X1X2	46,0	45,6	49,3				0,89	4
X1X3	47,0	43,0	50,9				4,1	4
X1X4	45,9	42,7	52,3				5,2	4
Похибка				8,53		3,34	53,5	16
Всього				100			627,2	26

Таблиця 2 – Дисперсійний аналіз шорсткості поверхні прорізу

Параметр різання	Варіативне співвідношення			P	SS	VV	F	DOF
	1	2	3					
X1 (швидкість різання)	57,5	53,3	56,2		1,02			2
X2 (частота)	53,9	57,9	55,2		0,92			2
X3 (тиск газу)	62,3	55,3	49,3	10,39	9,3	4,67	14,23	2
X4 (потужність лазера)	74,5	54,8	37,7	83,76	75,3	37,65	114,7	2
X1X2	57,9	56,5	52,6		1,6			4
X1X3	55,1	55,5	56,5		0,1			4
X1X4	55,3	55,2	56,4		0,09			4
Похибка				5,85	5,25	0,32		16
Всього				100	89,9			26

У випадку із швидкістю різання, вона має незначний вплив на параметр середньої шорсткості поверхні та ЗТВ, тому для цих змінних відгуку нею можна знехтувати. Тому оптимальним значенням приймається значення, при якому найкращий показник конусності прорізу, тобто контрольна змінна X1, яка відповідає швидкості різання, на рівні 40 см/хв.

Таблиця 3 – Дисперсійний аналіз зони термічного впливу

Параметр різання	Варіативне співвідношення			P	SS	VV	F	DOF
	1	2	3					
X1 (швидкість різання)	2,3	2,3	2,7		0,015			2
X2 (частота)	2,3	2,5	2,5		0,004			2
X3 (тиск газу)	2,9	2,5	1,9	9,64	0,059	0,03		2
X4 (потужність лазера)	4,2	2,0	1,2	85,59	0,53	0,26		2
X1X2	2,5	2,4	2,4		0,0018			4
X1X3	2,4	2,5	2,4		0,0003			4
X1X4	2,4	2,4	2,5		0,00026			4
Похибка				4,77	0,0296	0,0019		16
Всього				100	0,6196			26

Провівши аналіз отриманих результатів зменшення змінних відгуку (шорсткості поверхні прорізу, відхилення геометричної форми та зона термічного впливу) за методом Тагучі, було визначено оптимальні режими різання нержавіючої сталі 08X16H11M3, які наведено в табл. 4.

Як видно з табл. 4, для всіх змінних відгуку найбільш оптимальною буде контрольна змінна X4, яка відповідає потужності лазера на рівні 1000 Вт. Аналогічно для всіх змінних відгуку найбільш оптимальним значенням контрольної змінної X3, яка відповідає за тиск газу, є 0,5 МПа.

Таблиця 4 – Оптимальні режими різання нержавіючої сталі 08X16H11M3, визначені методом Тагучі

Контрольні змінні (X)	Змінні відгуку (Y)			Оптимальний параметр різання
	конусність	середня шорсткість	ЗТВ	
Швидкість різання X1, см/хв	40	-	-	40
Частота X2, Гц	75	25	-	50
Тиск газу X3, МПа	0,5	0,5	0,5	0,5
Потужність лазера X4, Вт	1000	1000	1000	1000

В роботі було визначено можливість використання методу Тагучі як інструменту для оптимізації параметрів лазерного різання нержавіючої сталі 08X16H11M3. За результатами проведених досліджень було встановлено оптимальні режими лазерного різання, при яких досягається вища якість деталей, а саме: швидкість різання 40 см/хв, потужність лазера 1000 Вт, частота 50 Гц, тиск газу 0,5 МПа.

Література:

1. Bendell A. Taguchi Methods / A. Bendell – Springer Dordrecht. – 2009. – 212 p.
2. Верстат HGstar Smart3015. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.hg-star.com/ru/budget-laser-cutting-machine/>
3. Roy K.R. Design of Experiments Using the Taguchi Approach: 16 Steps to Product and Process Improvement / K.R. Roy. – Wiley-Interscience. – 2001. – 560 p.