Експериментално-статистическо изследване на взаимовръзката между технологичните параметри при процеса на преддеформационно нагряване на образци в камерна пещ

Кръстин Йорданов, Илия Хаджидимов

Experimental statistical process of the relationship between process parameters of preliminary deformation heating specimens in a chamber furnace: *The aim is to determine optimal modes of preliminary deformation process of heating specimens in a chamber furnace and establish addiction them on some of the parameters of the hardened zone (maximum depth of hardening, the maximum surface hardness, stiffness distribution in depth) by under optimized parameters experimentally and using the methods of planning the experiment and mathematical statistics.*

Key words: *Optimal regimes, Preliminary deformation heating, Chamber furnace, Stiffness distribution, Experimental and survey.*

ВЪВЕДЕНИЕ

Изборът на подходяща температура на нагряване води до съществено намаляване на енергията за осъществяване на деформационния процес, както и до създаване на благоприятни условия за запълване на кухини със сложна форма поради повишената пластичност на метала.

В резултат на изменението на температурата при нагряване се изменят физичните и механичните свойства на метала, както и структурата му. Поради това, максималната и минималната температура, между които ще се провежда пластичната деформация, трябва да се намират в температурния интервал на съществуване на онази фаза, при която материалът има най-голяма пластичност.

За нагряване на заготовките преди щамповане се използват различни нагревателни съоръжения. В практиката за бързо нагряване се използват камерни пещи.

ИЗЛОЖЕНИЕ

1. Разработена е методика за експериментално- статистическо изследване на взаимовръзката между технологичните параметри в процеса на преддеформационно нагряване на образци в камерна пещ и качеството на повърхнините

1.1. Цел на методиката

Целта на методиката е да се определи неравномерността на нагряване на заготовките по напречното им сечение и времето за преддеформационно нагряване на детайли с различни размери в камерна пещ и да се оптимизират режимните параметри по експериментален път като се използват методите на планиране на експеримента и математическата статистика [1, 4].

1.2. Обект на изследване

Обект на изследване се явява неравномерното нагряване на заготовки по напречното им сечение и времето за преддеформационно нагряване на детайли с различни размери в камерна пещ, водещо до увеличаване на уякчаващ ефект на повърхнините.

1.3. Входни фактори

Въз основа на предварително събрана информация за процеса на преддеформационно нагряване на детайлите в камерна пещ и провеждане на някои предварителни експерименти са установени стойностите на факторите и интервалите на варирането им, представени в табл.1.

Таблица 1. Входни фактори

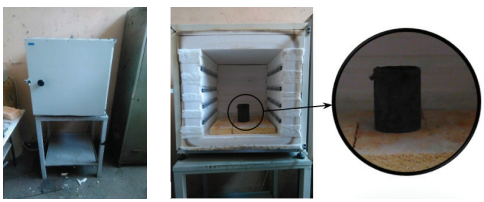
Фактори		Интервали на вариране		
		Долно ниво	Средно ниво	Горно ниво
		–1	0	+1
Z1	Диаметри на образците D,mm	50	55	60
Z2	Температура на нагряване Тн,°С	930	940	950
Z3	Продължителност на задържане т,min	80	90	100

1.4. Изходен параметър

Изходният параметър представлява количествена характеристика на изследвания обект или процес [6, 7]. За разглеждания случай на преддеформационно нагряване на детайлите в камерна пещ такава характеристика е изменението на твърдостта в нагряваните детайли.

1.5. Условия на изследване

За провеждане на експеримента са изготвени образци от стомана С45 (Фиг.1) с размери: диаметър Ø50mm и Ø60mm и дължина L=100mm. Целта е получаване на по – ясна картина за влиянието на факторите при тези условия.



Фиг.1. Електросъпротивителна пещ за термообработка с образец от С45

1.6. Методи за измерване

Използва се метод за измерване на твърдостта след процес на преддеформационно нагряване на детайли с различни размери в камерна пещ: метод по Викерс. Контролират се: диаметрите на образците D, mm, като се използва шублер със стойност на едно деление i=0,01mm; температура на нагряване на пещното пространство Тп, °С, чрез прибор, към който са свързани 4 броя термодвойки тип К и компютър, който записва измерените температури; продължителността на задържане на детайлите т, min. За изследването на структурата и измерването на твърдостта се изготвят шлифове на опитните образци.

1.7. Планиране и провеждане на експеримента

Планирането на експеримента е процедура за избор на броя и условията на провеждане на опитите, необходими и достатъчни за решаване на поставената задача с необходимата точност.

При избора на конкретен план за експериментиране се налага компромис в изискванията за: точност на математическото описание на процеса; простота на обработка на експерименталните данни; минимален брой експерименти [2, 5].

Освен това е необходимо всеки фактор да се изменя на не по-малко от три нива. По резултатите от опитите се пресмятат избраните оценки на коефициентите на модела и се съставя регресионното уравнение:

$$Y = B_0 + B_1x_1 + B_2x_2 + B_3x_3 + B_4x_1x_2 + B_5x_1x_3 + B_6x_2x_3 + B_7x_1^2 + B_8x_2^2 + B_9x_3^2 \qquad (1)$$

Структурата на информационната матрица и матрицата на грешките за планове е анализирана подробно. Оказва се, че в информационната матрица може да се

появят различни от нула нечетни моменти. В резултат на това такива планове се оказват несиметрични.

Експериментите са проведени на базата на приетия общ централно композиран план (ОЦКП) при избраните фактори и нива на вариране [3]. Избираме ЦКП на експеримента от втори ред – план на Хартли Рехтшафнер за три фактора с единадесет опита. Матрицата на централно композиран ротационно-инвариантен план на експеримента от втори род е даден в таблица 2.

За определянето на преддеформационно нагряване на детайли с различни размери в камерна пещ са използвани 15 образци: 11 образци съгласно избрания план и 4 образеца за проверка повторяемостта на резултатите.

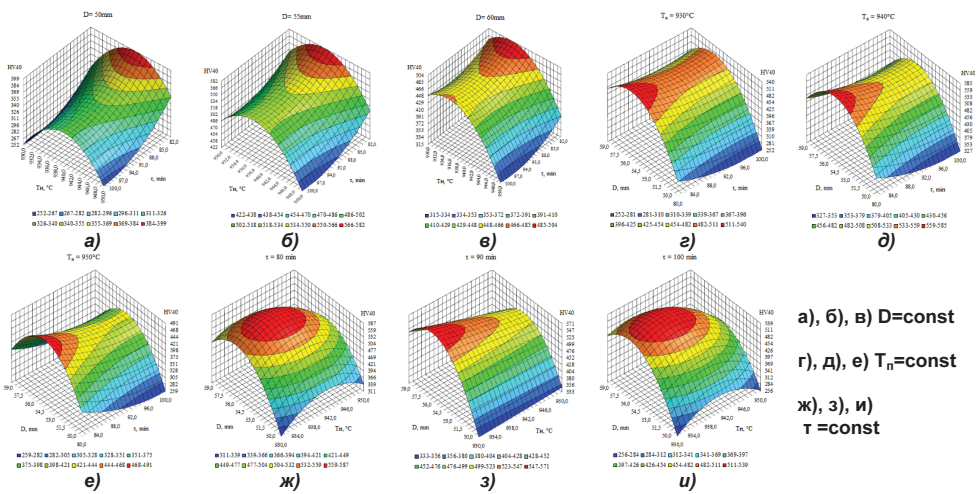
Таблица 2. Матрицата на избрания план при преддеформационно нагряване на детайли в камерна пещ.

№	X_0	X_1	X_2	X_3	X_1X_2	X_1X_3	X_2X_3	X_1^2	X_2^2	X_3^2	Y_1	Y_2	Y_3	$Y_{ср}$
1	1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	309	313	314	312
2	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	261	264	258	261
3	1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	1	456	450	450	452
4	1	1	1	-1	1	-1	-1	1	1	1	374	376	372	374
5	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	251	255	256	254
6	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	471	477	474	474
7	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	1	342	341	337	340
8	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	451	450	449	450
9	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	429	432	433	431
10	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	522	524	523	523
11	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	537	538	536	537

1.8. Проверка за адекватност на модела

Адекватността на математичния модел е проверен по критерия на Фишер, откъдето е доказано, че моделът е адекватен и може да се използва за предсказване.

1.9. Графичен анализ на регресионния модел на HV40 и Vн в областта на оптимума. Резултати от машинната обработка на регресионните уравнения



а), б), в) D=const

г), д), е) $T_п$=const

ж), з), и) τ =const

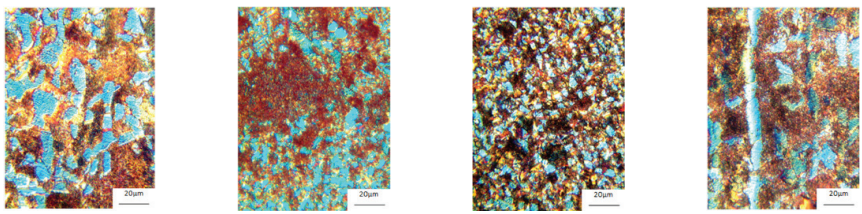
Фиг.2. Твърдост HV40 на образци от стомана С45 след процеса на преддеформационно нагряване на детайлите в камерна пещ

Обработката на статистическите данни, чрез програмен продукт ”Microsoft Office Excel”, позволява построяването на изолинии (фиг.2), в които X_1, X_2 и X_3 са представени като размерни променливи, т.е. с действителните им стойности.

2. Експериментални резултати

2.1. Изследване на структурните изменения на стомана С45 след процес на преддеформационно нагряване в камерна пещ

Изходящата структура на С45 е изцяло ферито-перлитна и е с измерена твърдост 250HV40, дадена на фиг.3а. При термообработката на образците твърдостта на уякчения слой се повишава до 420-500HV40 и се състои основно от троостит.



а) б) в) г)

Фиг.3. Структура на С45: а) изходяща структура; б), в), г) уякчен слой

След преддеформационно нагряване на детайлите от С45 в камерна пещ твърдостта на уякчения слой се повишава до 420-500HV40 и се състои от четири сектора – едроиглест мартензит, мартензит + бейнит, фин мартензит и сорбит, представени на фиг.3 б), в), г).

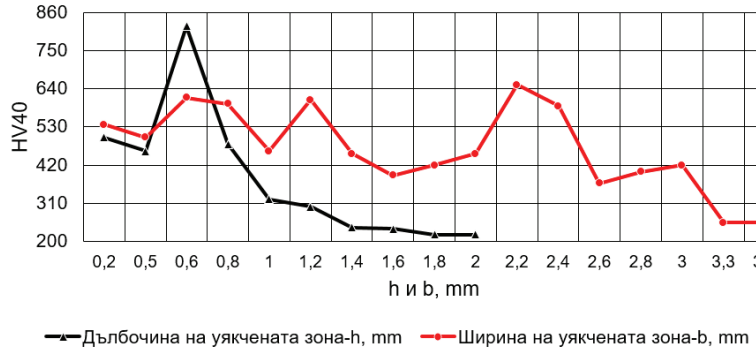
2.2. Измерване на твърдостта по дълбочина и по ширина на уякчената зона на С45 след преддеформационно нагряване в камерна пещ

Табл.3. Резултати от измерване на твърдостта по дълбочина на уякчената зона на С45 след преддеформационно нагряване в камерна пещ

Дълбочина на уякчената зона h, mm	0,1	0,5	0,7	0,8	1,0	1,2	1,5	1,7	1,8	2,0
HV40	500	460	820	480	322	300	240	236	220	220

Табл.4. Резултати от измерване на твърдостта по ширина на уякчената зона на С45 след преддеформационно нагряване в камерна пещ

Ширина на уякчената зона, b,mm	0,2	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,3	3,5
HV40	537	500	614	597	460	608	452	390	420	452	651	590	368	400	420	254	254



Фиг.4. Разпределение на твърдостта по дълбочина и ширина на уякчената зона на C45 след преддеформационно нагряване в камерна пещ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Въз основа на проведените по-горе експерименти и получените резултати от експериментално-статистическото изследване могат да бъдат направени следните изводи:

1. От поставения критерий за оценка на получените повърхнини може да се направи извод, че процесът на преддеформационно нагряване на детайлите с различни размери в камерни пещи притежава следните преимущества пред другите видове термообработки: повишена твърдост на обработваната повърхност; по-голяма дълбочина на уякчената зона; не настъпват деформации.

2. Посоченият процес на преддеформационно нагряване на детайлите с различни размери в камерни пещи разкрива перспективи за подобряване на повърхностните свойства на металите. В общия случай това са повишена твърдост и износоустойчивост.

3. След процеса на преддеформационно нагряване на детайлите с различни размери в камерни пещи, твърдостта на уякчения слой чувствително се увеличава от HV198 на HV820, като най-високи стойности на твърдостта се забелязват на дълбочина 0,7mm и в посока навътре в метала намаляват.

4. По значимост факторите се подреждат така:

а) Анализирайки получените резултати при избраните граници на изменение на факторите се вижда, че най-силно влияещ фактор върху твърдостта HV40 на стомана 45 след процеса на преддеформационно нагряване на детайлите в камерна пещ е температурата на пещта. Това се обяснява с промяната на количеството топлинна енергия, подавана на повърхността на образеца в условията на термообработката. Освен това, изменението на температурата влияе и върху структурата на материалите.

б) Следващ по важност фактор за твърдостта HV40 е времето на задържане в пещното пространство.

в) Най- малко значим фактор върху твърдостта HV40 е диаметъра на образеца.

ЛИТЕРАТУРА

[1]. Вучков И.Н., Експериментални изследвания и идентификация, Техника, София, 1990 г., 320 с.

[2]. Вучков, И., Стоянов, С. Математическо моделиране и оптимизация на технологични обекти. С., Техника, 1986, с.341.

[3]. Вучков, И., Стоянов, С., Велев К. Ръководство за лаб. упражнения по математическо моделиране и оптимизация на технологични обекти., Техника,

1986.
[4]. Генов, Д. Моделиране и оптимизация на производствени процеси (практикум). В., ВМЕИ, 1994.
[5]. Джонов Цв., Ангелов И., Петров М. Математическо моделиране и оптимизация на механичните характеристики на стоманите. Монография. ВМЕИ-Габрово. 1995. 163 с.
[6]. Стоянов, С. Методи и алгоритми за оптимизация. С., Техника, 1990.
[7]. Мечкарова Т., Стоянова А., Методика за експериментално-статистическо изследване на нова кинематична схема за ППД., "VII Международен конгрес МТМ", Варна, Брой 2, 19-21 септември 2011г.,114-117 с.

За контакти:

Инж. Кръстин Йорданов, Катедра "Топлотехника", ТУ-Варна, тел.: 052-383 341, e-mail: krystin_kr@abv.bg

Доц. д-р инж. Илия Хаджидимов, Катедра "Топлотехника", ТУ-Варна, тел.: 052-383 506, e-mail: i_hadzhidimov@tu-varna.bg

Докладът е рецензиран.