Определяне температурата, термичния цикъл и скоростта на охлаждане при плазмена механична обработка на цилиндрични заготовки

Анелия Стоянова, Зоя Цонева

Determination influence of temperature, thermal cycle and cooling rates at plasma machining cylindrical pieces: *This paper analyses the impact of the temperature, the thermal cycle and the cooling speed during plasmic mechanical processing of cylindrical billets.*

Key words: *Temperature, Plasma, Mechanical processing, Cooling.*

ВЪВЕДЕНИЕ

Известно е, че аналитично решение на уравнението на топлопроводността се получава само за частни случаи и за прости (регулярни) гранични условия. Най-често аналитичното решение се използва за стационарни топлинни процеси при едномерно разпределение на температурата. Поради тази причина тук основно внимание ще бъде отделено на тези случаи, а за по-сложните задачи ще бъдат въведени числени методи за решаване[1-5].

При правоъгълна координатна система ще се предполага, че температурата се изменя само в едно направление – например по оста x. В цилиндрична и сферична координатни система поради наличието на симетрия по отношение на ъгловите координати, обикновено се разглеждат процеси, в които температурата T се изменя само по радиуса – T = T(r) [3]

Обикновено се използва общ подход, като най-напред се определя температурното разпределение (изменение на температурата), а след това се определя и топлинния поток.

Компютърното моделиране на разпределението на температурата и топлините потоци в зоната на термично влияние се осъществява с програмния продукт ANSYS, който е система за инженерни анализи и симулации по метода на крайните елементи (FE). Осигурява механични, термични, електромагнитни, акустични и флуидни инженерни анализи в машиностроенето, строителството и др.

ИЗЛОЖЕНИЕ

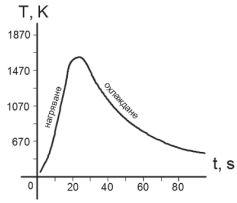
1. Обект на изследване

За изясняване характера на измененията в структурата на метала в зоната на термично влияние, при механична обработка на цилиндрични заготовки ще разгледаме процесите, произтичащи в зоната, при детайли от средновъглеродна конструкционна качествена стомана 45 (C45 по БДС EN ISO 14556), в условия на нормална температура на въздуха и без предварително подгряване на детайла с помощта на компютърна симулация на процеса [6].

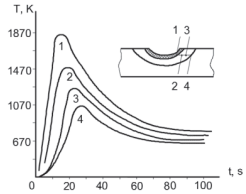
Участъкът от основния метал, който в процеса на плазмена механична обработка, се подлага на нагряване до температура, при която в него се извършват изменения на структурата, се нарича зона на термично влияние (ЗТВ). Загряването и последвалото охлаждане на една точка от ЗТВ се извършва по характерен за заваряването термичен цикъл представен на фиг.1. Максималната температура, при която се загрява точката, зависи от нейното положение. Най-висока е температурата по границата на стопяване - т.1, при отдалечаването на която максималната температура на нагряване се понижава - т. 2, 3, 4 (фиг. 2) [2].

Структурата на ЗТВ се определя от максималната температура на нагряване, химичния състав на основния метал, неговите топлофизични свойства и параметрите на режима на повърхностно обработване. В таблица 1 е представена информация за химичния състав на C45, а в таблица 2 механичните характеристики

на метала.



Фиг.1. Криви на нагряване и охлаждане (термичен цикъл)



Фиг.2. Термичен цикъл на различни точки на термично влияние

Таблица 1. Химичен състав на основния метал

Химични елементи	C	Mn	Ni	Si	S	P	Cr	Cu
C45	0,42-0,50	0,5-0,8	до 0,3	0,17-0,37	до 0,3	до 0,3	до 0,25	до 0,3

Таблица 2. Механични характеристики на основния метал

Якост на опън, Rm, MPa	Граница на провлачане, Re, MPa	Относително удължение, A,%	Якост на удар, KCV, kJ/m^2	Относително свиване, Z,%
598	353	16	490	40

2. Математически модел

Уравнение на топлопроводност при анизотропни среди:

$$\rho(t).c(t)\frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda_{xx}\frac{\partial T}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\lambda_{yy}\frac{\partial T}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\lambda_{zz}\frac{\partial T}{\partial z}\right) + q_V \quad (1)$$

Полученото диференциално уравнение на топлопроводимостта принадлежи към класа на хиперболичните уравнения, в частност при, $\tau_r = 0$, се получава стандартното уравнение на топлопроводимостта.

Гранични условия включват начални (времеви) и гранични (пространствени) условия [4].

Начално гранично условие необходимо за нестационарния процес, характеризиращ разпределението на температурата в началния момент от време:

$$T(x, y, z, 0) = f(x, y, z) \quad (2)$$

Често се приема:

$$T(\tau = 0) = T_0 \quad (3)$$

Граничните условия се характеризират с формата на тялото и условията за техния топлообмен с околната среда.

- При гранични условия от I-ви род на повърхността на тялото във всеки момент от време се задава разпределението на температурата:

$$T_п = f\ (x_п, y_п, z_п, \tau) \quad (4)$$

- При гранични условия от II-ри род на повърхността на тялото във всеки момент от време се задава топлинния поток:

$$q_п = f\ (x_п, y_п, z_п, \tau) \quad (5)$$

- При гранични условия от III-ти род на повърхността на тялото във всеки момент от време се задава температурата на околната среда и закона за конвективния топлообмен между повърхността на тялото и околната среда:

$$q_п = \alpha(T_п - T_c) \quad (6)$$

На базата на тези уравнения е създаден компютърно симулационния модел на разпределението на температурата, топлинните потоци и скоростта на охлаждане на образците.

3. Компютърно моделиране влиянието на температурата, термичния цикъл и скоростта на охлаждане при плазмена механична обработка на образци от стомана 45

Разработена е програма /методика/ за изчисляване на параметрите на температурното поле. Като е използван програмен продукт ANSYS 11[3].

За успешното компютърно моделиране и симулация на разпределението и изменението на температурата и топлинните потоци в детайла са въведени като входящи параметри химичния състав на основния метал, неговите топлофизични свойства и параметрите на режима на обработка [1,5]:

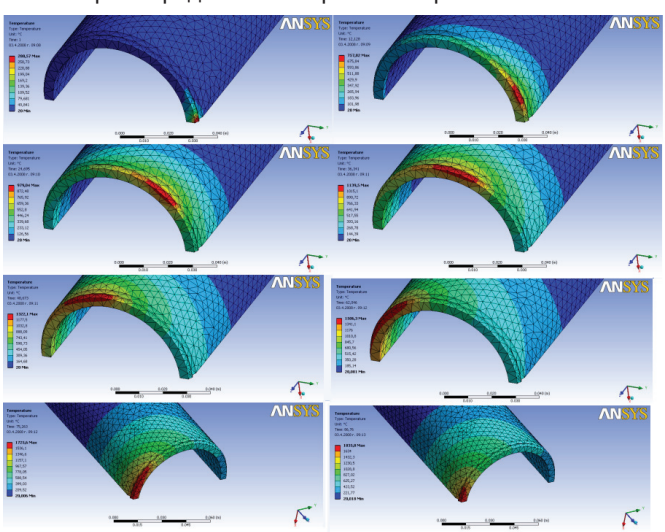
- плазмена механична обработка на вал с размери 275x70x5 mm;
- ПМО се осъществява на въздух;
- режими на източника: I=40A; U=200V;
- скорост на повърхностно обработване- V=0,1.10^{-2} m/s;
- ефективно КПД – η_u=0,4 %

Обработката се осъществява с два канала, нанесени последователно.

За модела са използвани следните гранични условия въведени в програмата:

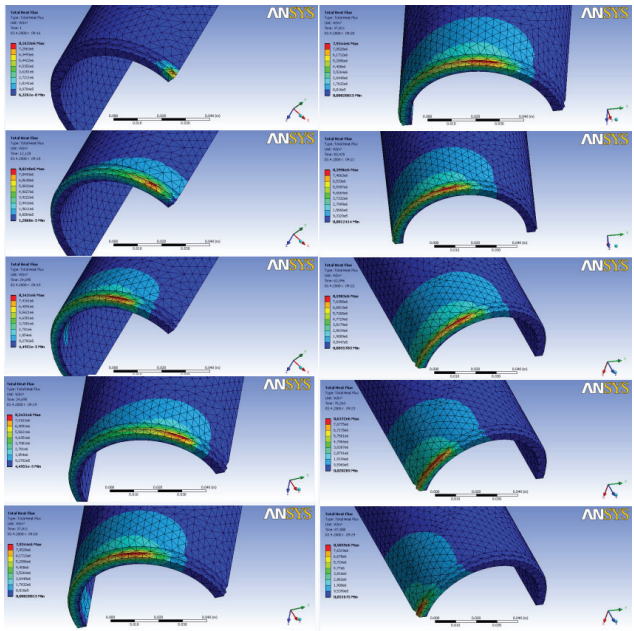
- гранични условия от III род;
- коефициент на топлоотдаване на въздух - 20W/(m^{2}k);
- температура на околната среда - 20°C;
- мощност на топлинния източник - 768 W/m^3;

На фиг.3 е показано изменението на температурата в кух вал с размери Ø275mm и δ=5 mm през определени интервали от време.

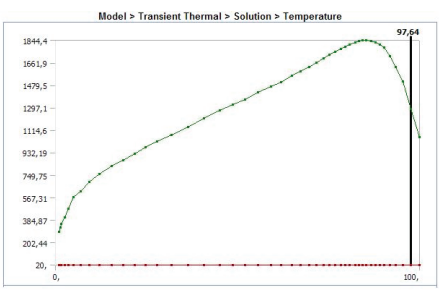


Фиг.3. Изменение на температурата в кух вал с размери Ø275mm и δ=5mm и канала образуван след плазмената механична обработка

На фиг.4 е показано разпределението на топлината под действието на топлинните потоци във вал през определени интервали от време от 0 до 100s през 10s.



Фиг.4. Разпределение на топлината под действието на топлинните потоци във вала и канала образуван след плазмената механична обработка



Фиг.5. Разпределение на температурата от времето

Фиг.6. Разпределение на топлините потоци от времето

На фиг. 5 и 6; са показани време-температурните криви и разпределението на топлинните потоци в канала след плазмено повърхностно обработване на въздух.

Програмата позволява да се пресмятат температурите, скоростите на изменение на температурите в определен интервал от време и средните скорости на изменение на температурата в определен отрязък от времето.

Сравняването на експерименталните и изчислените температури показва, че несъвпадението в участъка на термичния цикъл над 850°C е най-голямо (10-11%).

В интервала 850-500°C несъвпадението е 1-3% за различните участъци на интервала. Тъй като ние обикновено се интересуваме от участъка 850-500°C можем да приемем, че точността на пресмятането е достатъчно добра, още повече, че при изчисление на средните скорости на изменение на температурата в интервала 850-500°C несъвпадението е в рамките на 1-2%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На базата на направените изследвания могат да се направят следните изводи:

1. Сравняването на експерименталните и теоретичните данни на разработения модел на топлопредаването от дъгата към цилиндричния детайл в двумерна и тримерна постановка и изследването на разпределението на температурата, термичните цикли и скоростта на изменението на температурата при ПМО на детайли от стомана 45 показва разлика в рамките на 2-3% в интервала 850-500°C.
2. Сравняването на експерименталните и изчислените температури показва, че несъвпадението в участъка на термичния цикъл над 850°C е най-голямо (10-11%).
3. В интервала 850-500°C несъвпадението е 1-3% за различните участъци на интервала. Тъй като ние обикновено се интересуваме от участъка 850-500°C можем да приемем, че точността на пресмятането е достатъчно добра, още повече, че при изчисление на средните скорости на изменение на температурата в интервала 850-500°C несъвпадението е в рамките на 1-2%.

ЛИТЕРАТУРА

[1]. Йорданов К., Моделиране и изработване на охладителна система за стенд за ултразвукова умора, НТСМ Научни Известия -1, 09-17 юни 2014г., Созопол, стр.424-427, ISSN1310-3946.

[2]. Димитров Д., Изследване на уморна дълготрайност на синтеровани нисколегирани стомани, НТСМ Научни Известия -1, 09-17 юни 2014г., Созопол, стр.436-439, ISSN1310-3946.

[3]. Лилянова, И.Т.,Настройване разпределението на температурното поле в неферомагнитни детайли, Годишник на ТУ-Варна, т.1, с.140-144, 2013.

[4]. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей., Москва, Наука, 1972.

[5]. Zlateva P., Yordanov K, Dimitrov D., Numerical simulation of temperature separation phenomena inside vortex tube, ACTA TEHNICA CORVINIENSIS, University Politehnica Timisoara, ISSN 2067-3809, Fascicule 4, Tome VII, 2014, pp. 23-26.

[6]. Демянцевич В.П., Исследование разпределение температур и скоростей в аргоновой плазменной струе., Сварочное производство, 1969.

Изследванията са подпомогнати от НП–18 на ТУ Варна „Изследване на възможностите за дизайнерско проектиране и оценка посредством методите на автоматизираното проектиране и 3D прототипирането“.

За контакти:

Ас. д-р инж. Анелия Стоянова, Катедра “ТМММ”, ТУ-Варна, тел.: 052-383 449, e-mail: tatuna10@abv.bg

Гл. ас. д-р инж. Зоя Цонева, Катедра “ИД”, ТУ-Варна, тел.: 052-383 300, e-mail: zoya_tsoneva@abv.bg

Докладът е рецензиран.