

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ТОПЛОПРЕНАСЯНЕТО В ОБРАЗЦИ НАВАРЕНИ С EH550 СЛЕД ВЪЗДУШНО-ПЛАЗМЕНО ПОВЪРХНОСТНО РЯЗАНЕ

Анелия Стоянова, Пенка Златева

Abstract: In present article process of metal deposition after air- surface cutting is studied. Tested specimens from steel C45 with following metal deposition with electrode EH550 are prepared.

Mathematic model on heat conduction in a plate solid is carried out. The model is numerically calculated with simulation software. As a result transient temperature field in cutting area is found.

Key words: convective heat transfer, transient analysis, temperature distribution, plate, plasma source, electrode

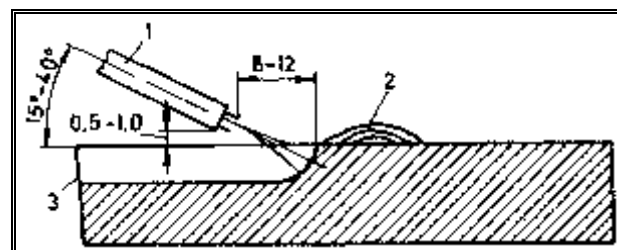
1. Въведение

Съвременното машиностроене и уредостроене се характеризира с непрекъснато нарастване на изискванията към точността, надеждността, дълготрайността и други показатели на качеството на изделията.

При повърхностно плазмено рязане се нагрява и разтопява определена част от обема на обработваното изделие. Топлината за нагряване се получава за сметка на превръщане на различни видове енергия (електрическа, плазмена, химическа, механическа, лъчиста, атомна и др.) в топлина [1]. Разтопяването на метала при образуването на кухината на повърхностния разрез се придружава със загуби на топлина вследствие на топлопредаване в съседния метал и в околния въздух, а също и от прегряване и изпаряване на метала, който се отделя от образуващия се повърхностен разрез. Скоростта на плазменото повърхностно рязане на метала е толкова по-голяма, колкото по-голяма е мощността на режещата дъга.

С увеличаване на скоростта се намалява количеството топлина, което се предава в ръбовете на разреза. Вследствие на това вредното топлинно въздействие на повърхностното рязане върху металните ръбове и изкривяването на обработваните детайли е минимално. Отстраняването на изкривяването е важно при обработване на тънколистов метал [7].

При процеса въздушно-плазмено повърхностно рязане диаметърът на плазмената струя е малка и тя се плъзга по повърхността на заготовката тъй като горелката е наклонена под 30° , а дълбочината на изрязването зависи от режимните параметри на процеса и дебелината на заготовката [5] и [6].



Фиг. 1. Повърхностно рязане 1- резач; 2- шлака; 3- издухан метал

След повърхностното плазмено рязане под повърхностния слой се образуват различни температурни области, всяка от която се характеризира със своите специфични особености и закономерности [5].

Процесите на високотемпературно нагряване на металите в протичат в условията на бързо нагряване до висока температура и охлаждане при стайна температура. В този температурен диапазон протичат различни физични и химични процеси: стопяване на метала в зоната на повърхностно рязане; кристализация на течния метал; структурни и обемни промени в метала и зона на термично влияние; локална пластична деформация.

В настоящата работа е съставен и решен модел на разпределение на нестационарно температурно поле в зоната на нагряване при наваряване. За решаване целта са направени симулации в средата на програмни продукти Solid Works и COMSOL [8].

2. Обект на изследване

Предмет на теоретико-експерименталното изследване са образци от листов материал C45 [2] с размери 70x60x8mm, наварени с електрод марка EH550 със скорост $V=1,5$ m/min. За наваряване избираме дебелообмазан базичен електрод за възстановяване на детайли от конструкционни и ляти стомани, работещи в условията на интензивно ударно – абразивно

износване (ЕН 550; БДС 5513-77: Е70 Х9С3; DIN 8555-83: Е6- UM-550) [4].

При наваряване и последващо плазмено рязане или рубене на тези стомани е необходимо да се осигури максимално топлоотвеждане, минимална линейна енергия, твърдо фиксиране (податливи са на температурна деформация) и проковаване на шевовете (намаляват опъновите напрежения и температурните деформации).

3. Методика използвана при решаване на задачата

За да се изследва и докаже ефективността на симулационните анализи е използвана следната методиката при решаване на задачата [8]:

1. Избани на подходящи входни данни необходими за изследване на топлинния процес;
2. Зададени са геометричните характеристики на 3D модела на наварените образци;
3. Прехвърляне на 3D модела в средата на подходящ програмен продукт с цел изследването му;
4. Избор на типа на анализа и задаване на материалите;
5. Избор и въвеждане на началните и гранични условия в модела;
6. Разделяне на изображението на крайни елементи;
7. Решаване на задачата;
8. Резултати;

9. Анализ на резултатите.

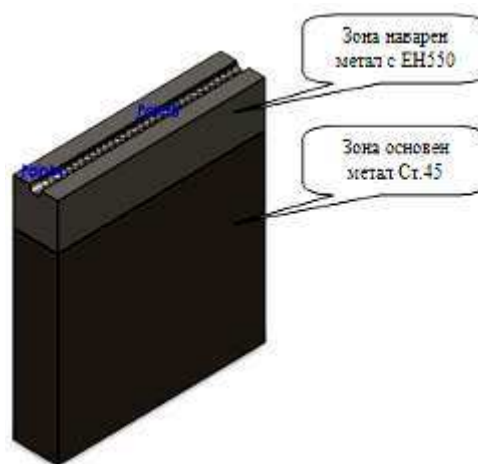
Разглежда се твърдо тяло с форма на пластина, което само по себе си представлява една хомогенна среда. Началното разпределение на температурата е T_0 . Дебелината на получения топлинен слой е значително по-малка от дебелината на образца, което дава основание да се разглежда решението на задачата в полубезкрайно тяло ($0 \leq x < \infty$). Задачата е разгледана в 3D пространството. В началния момент от време образца се нагрива и на повърхността му се установява температура $T(0, t) = \varphi(t)$, която достига точката на топене на метала, необходима за получаването на повърхностен срез. Максималната температура достигната в зоната на рязане е 2000°C , която изцяло зависи от полезната мощност на източника, при плазмено рязане е $q=0,24 \cdot U \cdot I$.

Математичен модел на нестационарното температурно поле в пластината

Нестационарният топлообмен в разглеждания модел се описва с уравнението на топлопроводността

$$\rho \cdot c \frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k_{xx} \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_{yy} \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_{zz} \frac{\partial T}{\partial z} \right)$$

и условията на еднозначност за решаването му, адекватни на реалното топлинно поведение на процеса на нагриване при наваряване. *Геометрични условия:* В средата на програмен продукт е създаден геометричен модел с размери 70x60x8 mm, разделен на две зони, фиг.2[8].



Фиг.2 Геометричен модел

Физични условия: След проучване на топлофизичните характеристики на материалите, включени в модела са съставени следните зависимости $c=c(t)$, $k=k(t)$ в табл.1. Тези зависимости са използвани при решаване на уравнение (1).

Таблица 1

Материал	C, kJ/kg.K	K, W/m.K	ρ , kg/m ³
ЕН550	14	440	7800
С45	49,8	486	7850

Начални и гранични условия

Температурното поле в пластината започва от точката на нагриване в първата зона и продължава по продължение на канала, прорязан след въздушното – плазмено повърхностно рязане. Края на процеса на охлаждане в първата зона се явява като начална за процеса на загриване на втора зона

$$T(x, y, z, 0) = T(x, y, z, \tau)$$

Това температурно поле е достигнато чрез последователно симулиране на загриване и охлаждане в отделните участъци. Тъй като процеса протича при стайна температура се приема, че началното разпределение на

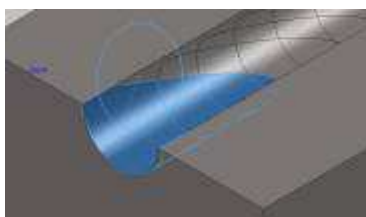
температурата в пластината е следното:
 $T(x,y,z,0) = T_0 = 293 \text{ K}$. По горната повърхност на пластината е зададено гранично условие от трети род ($h=35 \text{ W/(m}^2\text{K)}$). По всички останали повърхнини е зададена адиабатна изолация. Конвективните топлинни загуби от страничните и долната повърхности са пренебрегнати. Радиацията също е пренебрегната по всички повърхности.

3. Резултати и анализ

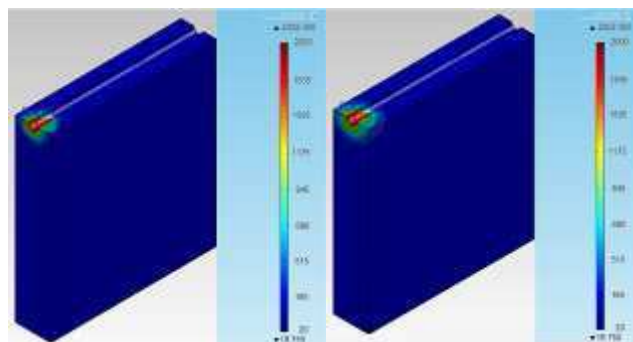
Съставеният математичен модел е решен в средата на програмен продукт. Продължителността на нагряването с плазмената горелка е дискретизирана на равни времеви стъпки $\tau=2 \text{ s}$. В резултат на симулацията е получено пълно описание на процеса на разпределение на температурата в отделните участъци на пластината. Началното температурно поле и същото в определен момент от режима са представени на фигури 5, 7, 9 и 11 в четири различни участъка от обработената повърхност. Направено е сравнение на стойностите на температурите, получени при моделирането и при замерванията, проведени при реален експеримент. Установена е 2% разлика между резултатите от модела и реалните данни. Геометричният модел е дискретизиран на крайни елементи. Големината на елементите е $0,003 \text{ mm}$. Броят им е 526 324, а на възлите е 249 787.



Фиг.3 Дискретизация на геометричния модел на крайни елементи

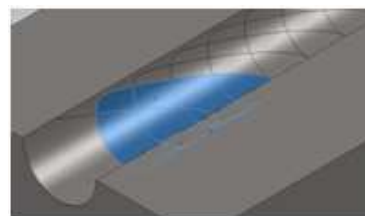


Фиг.4 Първи участък – нагряван с горелка за плазмено повърхностно рязане

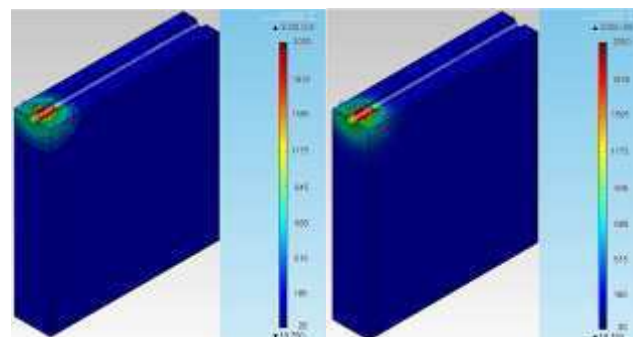


а) б)

Фиг.5 Резултати от разпределението на температурата в първи участък при 1 и 2 секунди върху пластина от листов материал на стомана 45 наварена с електрод за наваряване EN550

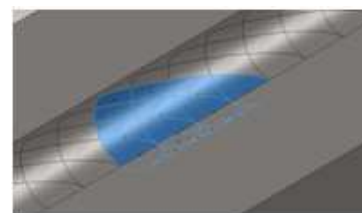


Фиг.6 Втори участък – нагряван с горелка за плазмено повърхностно рязане

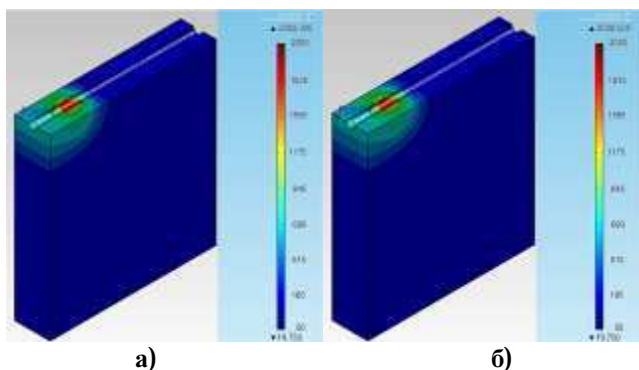


а) б)

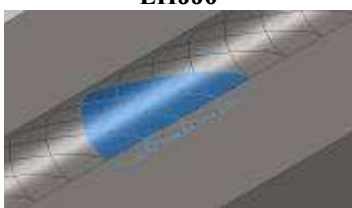
Фиг.7 Резултати от разпределението на температурата във втори участък при 3 и 4 секунди върху пластина от листов материал на стомана 45 наварена с електрод за наваряване EN550



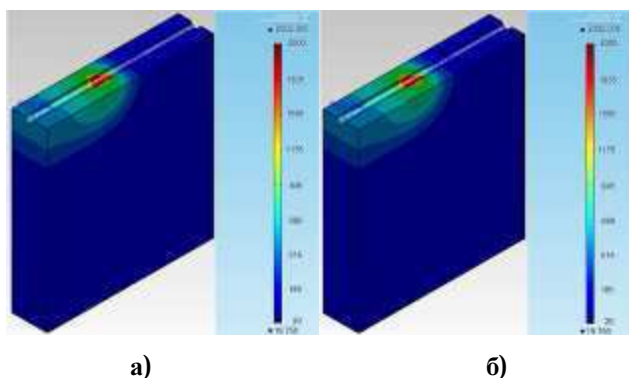
Фиг.8 Седми участък – нагряван с горелка за плазмено повърхностно рязане



а) б)
Фиг.9 Резултати от разпределението на температурата в седми участък при 13 и 14 секунди върху пластина от листов материал на стомана 45 наварена с електрод за наваряване EN550



Фиг.10 Четиринадесети участък – нагриван с горелка за плазмено повърхностно рязане



а) б)
Фиг.11 Резултати от разпределението на температурата в четиринадесети участък при 27 и 28 секунди върху пластина от листов материал на стомана 45 наварена с електрод за наваряване EN550

Анализът на фиг.5, 7, 9 и 11 показва, че с увеличаване времето на нагриване се намалява на скоростта на разпределение на температурното поле.

Забелязва се че зоната на термично влияние не навлиза в зоната с основен метал.

4. Изводи и заключение

Въз основа на проведените симулационни изследвания на процеса на наваряване след въздушно-плазмено повърхностно рязане с помощта на програмните продукти SolidWorks и COMSOL е получено нестационарно разпространение на температурното поле в зоната на рязане.

Установено е, че при бързото нагриване на модела разпространението на температурното поле не достига в дълбочина основния метал, което е предпоставка да се счита, че има тънка зона на термично влияние.

5. Означения

C – специфичен топлинен капацитет, $J/(kg.K)$;

ρ – плътност, kg/m^3 ;

k – коефициент на топлопроводност, $W/(m.K)$;

T_o – температура на ок. среда, K ;

I – ток, A ;

U –напрежение, V ;

h – коефициент на топлопредаване, $W/(m^2K)$

6. Литература

[1]. Бельчук Г.А., Мацкевич В.Д., Сварка судовых конструкций, Судостроение, Ленинград, 1971, 461с.

[2]. БДС EN 10083-2[2001].

[3]. Златева П., Моделиране на процесите на топлообмен и масообмен при спичане на железни праховометалургични сплави с конструкционно предназначение, Механика на машините, ISSN 0861-9727, 2009, №4, 64-68; 68с.

[4]. Проспект, ЕЛЕКТРОДИ – АД, ИХТИМАН, 2002÷2003,

[5]. Киров Р., Н.Македонски, Вл.Чириков, В.Гюров, Изследване възможностите за оптимизиране на режима на напрежение в ЕСС на мощни промишлени обекти в режим на понижена консумация, III Научна конференция 2011, гр.Созопол, ТУ-София, сб.доклади, том I, стр.267-272.

[6]. Узунов П., Г. Антонов, Справочник за проектиране на топло- и масообменно оборудване, ТУ-Варна, ISBN 954-20-0144-4, 2001, 320с.

[7]. Seyffart P., Meyer B., Scharff A., Grosser Atlas Schweis – ZTU – Schaubilder, Dusseldorf, 1992. _176р.

[8]. <http://www.comsol.com/>

За контакти:

9010 Варна, ул. “Студентска” 1
Технически университет -Варна
ас. инж. Анелия Стоянова,
e-mail: tatuna10@abv.bg
гл.ас д-р инж. Пенка Златева,
e-mail: pzlateva1@abv.bg