

ТЕРМИЧЕН АНАЛИЗ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ТОПЛИННИТЕ ПРОЦЕСИ СЛЕД ВЪЗДУШНО-ПЛАЗМЕНО ПОВЪРХНОСТНО РЯЗАНЕ

Анелия Стоянова, Мария Консулова- Бакалова, Пенка Златева

Abstract. This study presents the results of an experimental study of heat processes in the air - surface plasma cutting welded samples.

The result of computer simulation shows the distribution of temperature and heat flux in four different areas of the specimen in 2 seconds retention burner on the surface. Thermal processes are tested and termocameras Raytek MX6.

Key words: air - surface plasma cutting, welding, non-stationary thermal conductivity of steel samples

1. Въведение

В настоящата работа се разглеждат проблемите свързани с топлинните процеси протичащи при нагриване на образци от листов материал на стомана марка С45, ръчно електродръгово наварени с електроди EN550, чрез изследване влиянието на температурите, времето на нагриване и геометрията на изследваните образци.

Чрез компютърно симулиране с помощта на програмни продукти SolidWorks и COMSOL Multiphysics, който имат системи за инженерни анализи по метода на крайните елементи в резултат, на които се получават симулации на разпределението на температурата във времето и посоката на топлинните потоци в зоната на термично влияние след процеса на въздушно-плазмено повърхностно рязане.

Методът цели да се повишат експлоатационните качества на обработените повърхнини, което от своя страна води до потребността от експериментално изучаване на топлинните процеси протичащи в процеса на нагриване, задържане и охлаждане. Наваряването е технологичен процес, при който върху зададена повърхност се нанася слой разтопен допълнителен метал с определени свойства и след кристализацията му заедно с проварения метал се увеличават размерите на изделието.

Наваряването се прилага, както за възстановяване на износени детайли, проектиране и производство на нови изделия,

така и за получаване на биметални материали, при които повърхностния им слой трябва да притежава специални свойства: износоустойчивост, корозионна устойчивост, топлоустойчивост, твърдост, абразивна устойчивост и др.

Основният проблем след наваряване на детайли с износоустойчиви слоеве е тяхната окончателна обработка. Идеята на настоящата работа е определяне на възможностите за прилагане преди окончателната обработка на детайлите, на плазмено снемане на част от наварения метал (така нареченото рубене) [4] и [5].

При изследване на топлинните процеси след високотемпературно плазмено повърхностно нагриване, важна особеност е, че температурите на тялото се изменят не само в пространството, но и във времето. Практическият интерес към топлинните процеси се основава на това, че температурата на тялото претърпява периодични изменения под действието на високотемпературното плазмено въздействие в зоната на повърхностно рязане.

2. Методика на експеримента

2.1. Подготовка на образците.

За провеждане на експеримента са изготвени образци от средновъглеродна конструкционна качествена стомана С45 (БДС EN ISO 14556) с размери: 60x70x8mm [3] и [4]. По литературни данни [1], [2], [3], [4], [5] и др., тази стомана спада към групата

на среднолегираните, които имат висока якост, повърхностна твърдост и малка жилавост. Характерно приложение на тези стомани е от тях да се изработват детайли работещи без ударни натоварвания след закаляване и отвърщане: колянови и разпределителни валове, зъбни колела и др./1/.

В таблица 1, 2 и 3 са показани съответно, химичния състав, механичните характеристики и физични характеристики на стоманата [3], [4].

Табл.1 Химически състав на основния метал

Химични елементи	C	Mn	Ni	Si	S	P	Cr	Cu
Стойност,%	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

Табл.2 Механични характеристики на основния метал

Якост на опън, Rm/MPa/	Граница на провлачане, Re/MPa/	Относително удължение, A%/	Якост на удар, KCV kJ/m2	Относително свиване Z%/
598	353	16	490	40

Табл.3 Физични характеристики на основния метал

Температура T°C	Модул на еластичност E.10 ⁻² MPa	Коеф. на лин. разширение α.10 ⁻⁶ 1/°C	Коеф. на топлопроводимост λ W/m.°C	Плътност ρ kg/m ³	Спец. топл. капацитет C J/kg°C	Електро-съпротивление R.10 ⁹ Ω.m
20	2,00	11,7	67,81	7814	-	272
100	-	11,9	48	7799	469	-
200	1,91	12,7	47	7769	481	-
300	1,90	13,4	44	7739	-	-
400	1,72	13,7	41	7689	523	-
500	-	14,3	39	7662	-	-
600	-	14,9	36	7625	574	-
700	-	15,2	31	7587	-	-
800	-	-	27	7595	-	-
900	-	-	26	-	-	-
1000	-	-	-	-	-	-
1100	-	-	-	-	-	-
1200	-	-	-	-	-	-

Закаляемостта на стоманата се определя по формула [1]:

$$C_{скв} = C, \% + \frac{Mn}{6}, \% + \frac{Cr + Mo + V}{5}, \% + \frac{Ni + Cu}{15}, \% \quad (1)$$

В резултат на изчисляване на въглеродния еквивалент по формула 1 се получава, че избраната стомана е от 0,60÷0,70% и е в границата между закаляващите се и незакаляващи се стомани [1].

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)[2].

В табл. 4. е показан химическия състав на наварен метал [2].

Табл.4. Химичен състав на наварен метал, %

C	Si	Mn	Cr
0,50	2,40	0,40	9,00

Чист наварен метал, с достатъчна за практиката точност се получава след нанасяне на третия слой и е с твърдост ~56HRC.

При работа с електрода се препоръчва предварително подгриване в интервала от 200÷300°C за материали с проблемна заваряемост (висок въглероден еквивалент, лята структура, тримерно разпространение на топлината и други).

След наваряване и плазмено рязане е необходимо да се извърши следната термообработка:

- Закаляване при температура 1000÷1050°C, с охлаждане в среда от масло;
- Отвърщане 5 часа при 780÷820°C и охлаждане бавно с пещ до 300°C.

При наваряване с 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 шевове (намаляват опъновите напрежения и температурните деформации). В редица случаи е необходимо да се наварят и междинни слоеве от аустенитни стомани.

Въздушно – плазменото повърхностно рязане намира широко приложение при повърхностно обработване на трудно топими детайли. При този вид обработка, разтопяването на метала се осъществява от високотемпературна плазмена дъга, а отделянето му се осъществява от насочената струя въздух. Процеса се извършва с плазмотрон в който се поставя волфрамов или циркониев електрод в зависимост от състава на използвания плазмообразуващ газ. За разлика от разделителното рязане при повърхностно плазменото рязане канала на дюзата трябва да има голям диаметър и малка концентрация на дъгата. Охлаждането на плазмотрона е въздушно, като въздуха се

използва и за отделяне на разтопения метал и шлака от зоната на обработка. Процеса на плазмено повърхностно рязане лесно се механизира [2].

За да се изследва и докаже ефективността на симулационните анализи е проведен експеримент при следните условия:

- повърхностно рязане се осъществява на въздух;

- температура на околната среда- 20°C;

- мощност на топлинния източник- 8000(MW/m³);

- режими на източника: I=40(A); U=200(V) [2];

- разход на плазмообразуващ газ- чист въздух без замърсявания Q_i=10(l/min);

- коефициент на топлоотдаване на въздух- 20 W/(m.K);

- скорост на повърхностно рязане- V=1,5(m/min);

- ефективно КПД – η_и=0,4(%);

Върху опитните образци е въздействано чрез високотемпературно нагряване в 40 различни области при едно и също време на задържане в петното на контакта около 2 секунди. Този метод на обработване на наварени образци с електроди за наваряване с различни механични качества води до фазови превръщания както в разтопената така и в прилежащите зони, фиг.1.



Фиг.1 Въздушно - плазмено – повърхностно рязане

Оборудване и екипировка за измерване на температурата в зоната на термично влияние:

Температурата се измерва с помощта на термодвойка „К – сонда“ от безконтактен IR уред за измерване на температурата Raytek MX6. Записващото устройство, осигурява записване и заснеманена изменението на температурата във функция от времето.

Паралелно е проведен симулационен анализ на изследвания образец в средата на посочените по-горе програмни продукти. За

изследване на параметрите на температурното поле се използва преходен термичен анализ.

За успешното компютърно моделиране и симулация на разпределението и изменението на температурата и топлинните потоци в детайла са въведени като входящи параметри вида на основния материал и слоя наварен метал, неговите топлофизични свойства и параметрите на режима на повърхностно рязане.

Представена е и посоката на разпространение на топлинния поток при задържане на плазмената горелка от 2 секунди в различните участъци от образца .

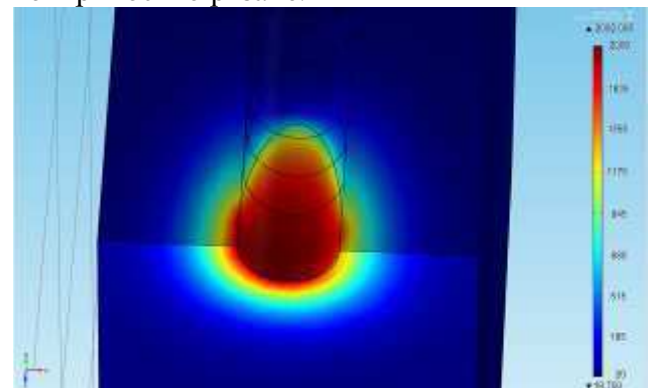
3. Резултати и анализ

Обект на изследване са топлините процеси протичащи в образец от стомана марка С45, наварен с електрод ЕН 550, обработен окончателно чрез въздушно – плазмено повърхностно рязане показан на фиг.2.



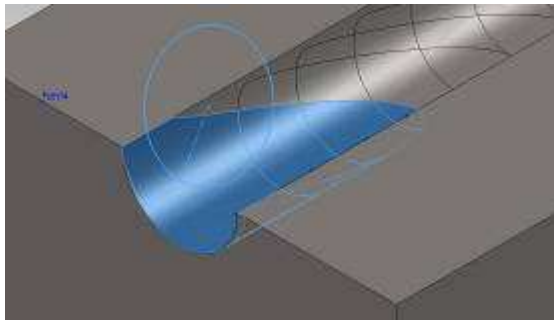
Фиг.2 Макрошлиф на образец след плазмено рязане (рубене)

На фиг.3 са показани резултатите от разпределението на температурата в първи участък през две секунди от обработка на пластина от листов материал на марка стомана С45 след въздушно-плазмено повърхностно рязане.

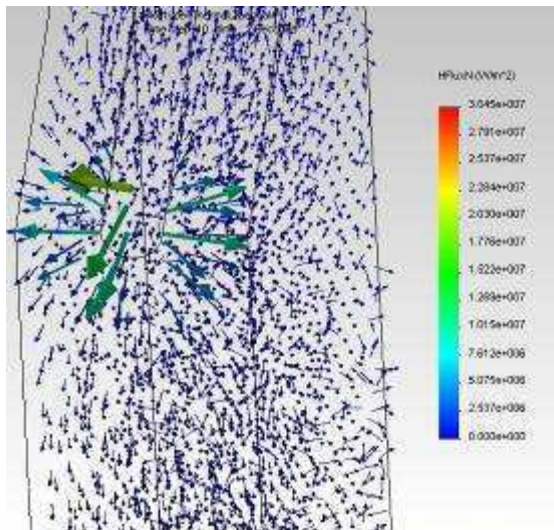


Фиг.3 Резултати от разпределението на температурата след симулационния анализ в първата секунда след повърхностното рязане [6]

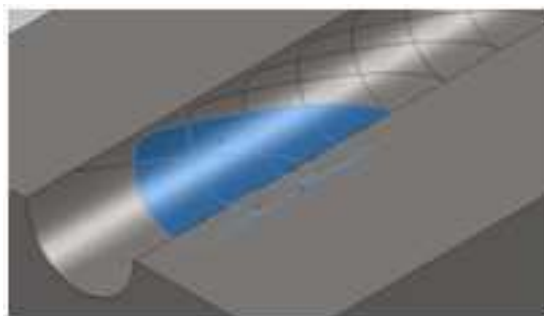
Въз основа на симулационното моделиране са получени следните резултати, които са представени от фиг.4 до фиг.11 и от тях може да се направи нужната обосновка за посоката на разпространение на топлиния поток в обработваните образци. Показаните резултати от разпределението на топлинния поток са в четири различни зони при 2 секунди на задържане на горелката в даден участък на образци от листов материал на стомана мака С45.



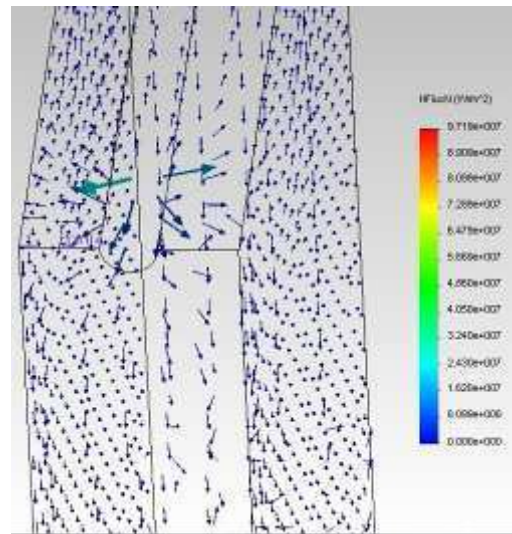
Фиг.4 Първи участък – нагряван с горелка за плазмено повърхностно рязане



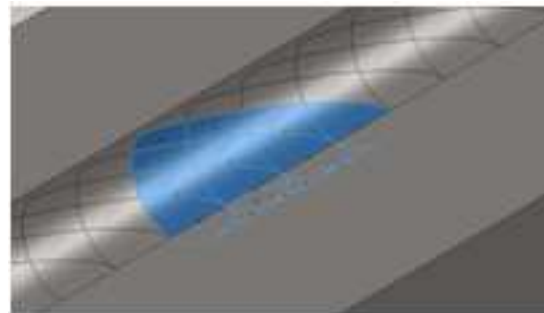
Фиг.5 Резултати от разпределението на топлинния поток в първи участък при 2 секунди на задържане върху образци от стомана 45 наварена с EN550



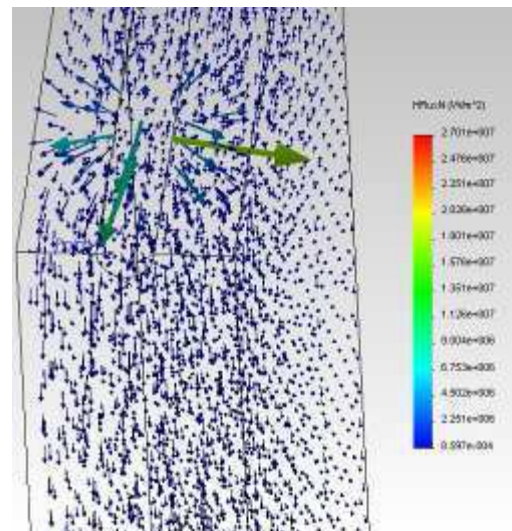
Фиг.6 Втори участък – нагряван с горелка за плазмено повърхностно рязане



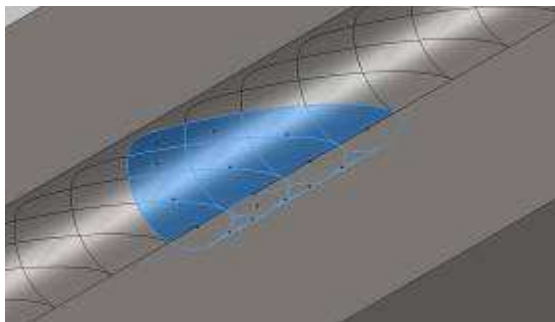
Фиг.7 Резултати от разпределението на топлинния поток във втори участък при 2 секунди на задържане върху образци от стомана 45 наварена с EN550



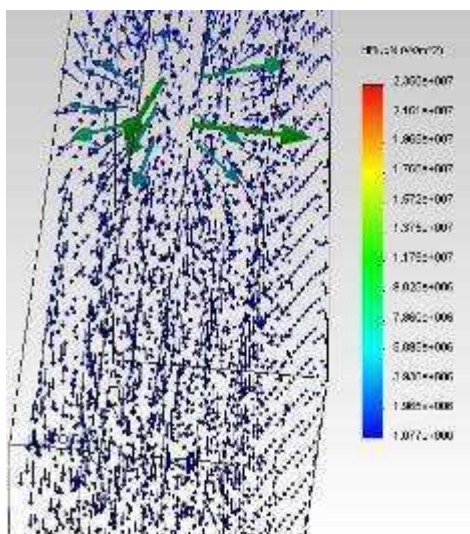
Фиг.8 Седми участък – нагряван с горелка за плазмено повърхностно рязане



Фиг.9 Резултати от разпределението на топлинния поток в седми участък при 2 секунди на задържане върху образци от стомана 45 наварена с EN550



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



Фиг.11 Резултати от разпределението на топлинния поток в четиринадесети участък при 2 секунди на задържане върху образци от стомана 45 наварена с EN550

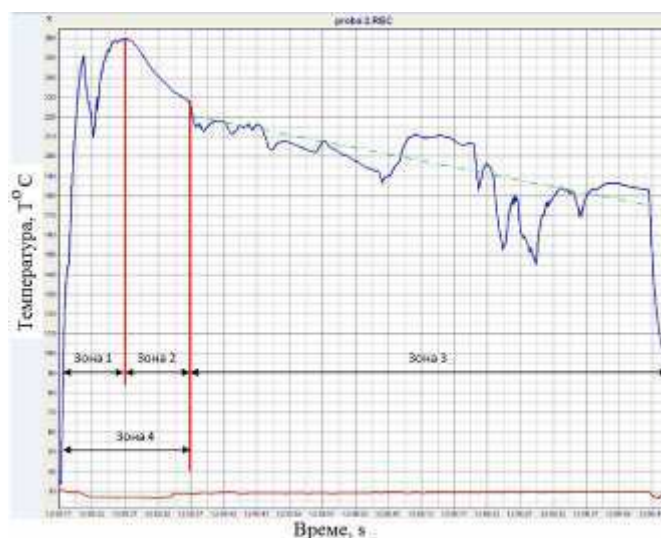
Анализът на резултатите показва, че с увеличаване времето на въздействие /нагриване/ се получава намаляване на скоростта на разпределение на топлинния поток.

Експерименталните данни са свързани с разпределение на температурното поле в зоната на нагриване. За целта е извършен експеримент за определяне на температурата на повърхността на пробата в близост до точката на повърхностно рязане както е показано на фиг.12.



Фиг.12 Термодвойка за отчитане на резултатите от повърхностното рязане

На фиг.13 са показани резултати, отчетени с термодвойка „К – сонда“ и заснети с термовизионна камера Raytek MX6 и представени с време-температурна крива.



Фиг.13 Резултати от заснемането с термодвойка „К – сонда“ от безконтактен IR уред за измерване на температурата Raytek MX6: Зона 1 Нагриване; Зона 2 Охлаждане; Зона 4 Рязане; Зона 3 Охлаждане след рязане

Резултатите на фиг.13. показват разпределение на температурата във времето на обработка на образеца след въздушно-плазмено повърхностно рязане. В Зона 4 с помощта на термодвойката, показана по-горе се достига максимална стойност на температурата след 10-тата секунда. Отчетената максимална температура е 260°C, тъй като термодвойката се намира в зона на термично влияние (~1mm от повърхнината на

рязане), независимо че в областта на рязане температурата е 2000°C. Високата енергия на източника и голямата скорост на рязане не дават възможност на разпределението температурното поле да достигне високи стойности, получени в близост до зоната на рязане. Наблюдава се, че по време на повърхностното рязане чувствителния елемент на термодвойката, намиращ се в близост до зоната на рязане не отчита високи стойности, поради факта че самата термодвойка не е защитена от контакт с околната среда. В зона 3 се наблюдава охлаждане след рязане за време 1,10min като се достига температура 180°C. След това време процеса продължава до достигане на стайна температура.

4. Заключение

Представените експериментални резултати на топлинните процеси при въздушно-плазмено повърхностно рязане на образци от листов материал на марка стомана С45 наварени с електроди за наваряване EN550, показват че с нарастване времето на нагряване настъпва изменение на топлинния поток в определени граници.

Въз основа на съпоставянето на теоретичното и експериментално изследване при въздушно-плазмено повърхностно рязане на образците, може да се направи извода, че симулационните изследвания чрез математичния модел, адекватно пресъздават процесите на разпределение на топлинното поле в дълбочина на реалния обект.

5. Литература

[1]. Аргиров.Я.Б., Изследване на структурните и температурни изменения в областта на точковото заваряване на листовата стомана-08кп след ГКН Известие на съюза на учените - Варна, 2010г

[2]. Киров Р.М., Василев Р.Н., Цонев Ц.К., Относно някои практически възможности за намаляване на специфичния разход на електрическа енергия за промишлени обекти в режим на понижена консумация, Енергиен форум, 2001г., Сб.доклади, том II, стр.344-349.

[3]. Златева П. Н., Аргиров.Я.Б., Моделиране на процеса на топлопренасяне при електросъпротивително нагряване на пластина, Машиностроителна техника и технологии, 2010, кн.2.

[4]. Антонов, Г., Консулова-Бакалова, М., Аргиров, Я., Златева, П. Симулационно моделиране на процесите на напрегнатото и деформираното състояние при заваряване на биметална пластина, сп. Машиностроителна техника и технологии, бр.2, ISSN 1312-0859, 2011, с.с. 43-48

[5]. Консулова-Бакалова, М., Златева, П. Г., Аргиров Я., Антонов Г., Симулационен анализ за изследване на процесите на топлопренасяне при заваряване на биметална пластина сп. Машиностроителна техника и технологии, бр.2, ISSN 1312-0859, 2011, с.с. 53-57

[6]. <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. Мария Консулова-
Бакалова,
e-mail: mkonsulova@gmail.com

гл.ас д-р инж. Пенка Златева,
e-mail: pzlateva1@abv.bg