

ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ИНТЕГРАЛНИТЕ ТОПЛОТЕХНИЧЕСКИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ТЪНКИ МЕТАЛНИ ПЛАСТИНИ СЛЕД ГКН**Ярослав Аргиров, Пенка Златева, Ивайло Иванов**

Abstract: In present article, with a theoretically-experimental investigations, integral heat transfer characteristics of thin sheets steels after different modes of gas nitrocarburising are carried out. Numerical models of transient heat transfer are obtained. The models are solved by help of simulation software. As a result, transient heat transfer temperature distribution in heating areas is derived.

The purpose of this study is to prove that heat transfer characteristics of surface coatings cause significant influence on wear resistance of investigated samples.

Key words: simulation software, transient heat conduction, plate, thin sheets steels

1. Въведение

Развитието на науката и техниката се нуждае от точни стойности на топлофизичните характеристики на веществата. Без тях не е възможно да се изпълни практически нито една сериозна конструкторска или технологична разработка. Една от най-важните топлофизични характеристики на твърдите тела е топлопроводността, определяща преноса на топлина и структурата на температурното поле в материала.

Механизма на пренасяне на топлината чрез топлопроводност в твърдите тела е изучен теоретично, макар че точни зависимости, позволяващи да се определи топлопроводността по разчетен път, на практика не съществуват поради незнанието на коефициентите, влизащи в тези формули.

От това може да се направи един практически извод, че точен способ за определяне на топлопроводността на твърдите тела се явява нейното непосредствено експериментално измерване. Основният проблем при определяне точността на такива експерименти се състои в прецизното измерване на топлинните потоци: основния-създаващ температурният градиент в образеца и вторичните, представляващи топлинните загуби. Експерименталното (за стационарните методи) или разчетното (за нестационарните методи) определяне на топлопроводността се базира на методи, при които грешката е $\pm 2-3\%$, а в редица случаи нараства до $\pm 10-15\%$. Създаването на точни методи е необходима, но все още нерешена задача.

Тъй като грешката при измерването на редица физични параметри на твърдите тела е под 1 %, е необходимо коефициента на топлопроводност на едно и също вещество да се определя многократно по различни методи с цел получаване на по-точни стойности [5].

Освен, че е свързано с грешка експерименталното определяне на коефициента на топлопроводност е доста сложно. Подходите за прецизно определяне на топлопроводността при различни температурни диапазони, различна геометрия на образците и различен тип на твърдото тяло (метали или изолатори например) трябва да бъдат различни. Това води до необходимостта за всяко дадено вещество във всяко негово състояние да има пълен набор експериментални стойности на коефициента на топлопроводност.

При металите коефициента на топлопроводност $K = 2,5 - 420 \text{ W/(m.K)}$, като при повечето от тях с покачване на температурата намалява [5]. Например при Al 99% коефициента на топлопроводност при $t=150^\circ\text{C}$ е 174 W/(m.K) , а при $t=570^\circ\text{C}$ е 279 W/(m.K) [3], [4]. Според [6] при желязо с температура 100°C коефициента на топлопроводност е $78,2 \text{ W/(m.K)}$.

Важна особеност на топлофизичните измервания е тяхната висока трудоемкост и сравнително ниска точност. За разлика от редица области на измервателната техника, осигурени с промишлени прибори, тези измервания се провеждат основно на самостоятелно изработени установки. При проектирането им усилията трябва да се

насочат към постигането на максимално възможната точност.

Цел на работата е създаването на методика за определяне на интегралните топлотехнически характеристики при температура 560°C на тънки листови стомани след различни режими на газово карбонитриране (ГКН).

Топлофизическите характеристики на защитните покрития се оказват съществени показатели за износостойчивостта.

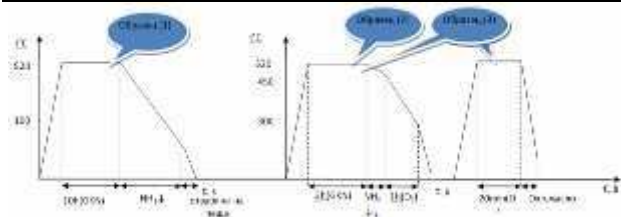
2. Обект на изследване

Предмет на настоящото теоретико - експерименталното изследване са образци, изработени от листов материал стомана 08КП с дебелина $\delta=0.5\text{ mm}$, височина $h=10.8\text{ mm}$ и дължина $l=120\text{ mm}$. Нанесени са и защитни покрития след ГКН.

При провеждане на експериментите са използвани режимите, дадени в табл.1 и показани на циклограмите на фиг.1.

Таблица 1

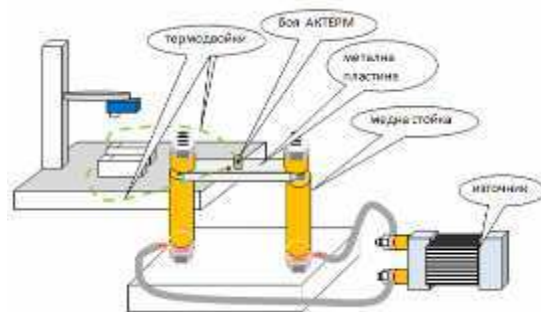
№	Вид термична обработка на образците	Означение
1	Карбонитриран	К
2	Карбонитриран и окислен	К+О
3	Карбонитриран и омаслен	К+Ом
4	Изходен	И



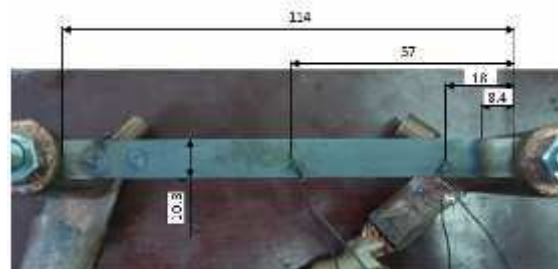
Фиг.1 Технологични циклограми

Експерименталното определяне на коефициента на топлопроводност се базира на електросъпротивително нагряване при температура около 560°C. За целта е използван трансформатор за електросъпротивително нагряване и медни стойки, които задържат образца. Към металната пластина, описана по-горе се закрепят термодвойки, тип хромел-алюмел съответно в средата (57 mm) и в края (18 mm) на пластината. Термодвойките се

изолират с боя Актерм в точките на контакт на термодвойката с пластината, за да не се влияе получения резултат от температурата на околната среда, фиг.2 и фиг.3.



Фиг.2 Схема на опитната установка при електросъпротивителното нагряване



Фиг.3 Метална пластина

Пластината е изолирана с минерална вата тип IZOTEK ($t=1260^\circ\text{C}$, относително тегло 160 kg/m^3).

3. Изложение

Настоящото теоретично изследване обхваща разглеждането на въпроса, свързан с изучаване на процеса на топлопренасяне при нагряване на пластина до температура 560°C с цел определяне на интегралните топлотехнически характеристики.

Същността на методиката се състои в следното:

- при известни топлофизични характеристики на материала (C_p , K и ρ) се варира със стойността на коефициента на топлопредаване h така, че числената стойност на температурата в точката на експерименталното ѝ измерване да не се различава с повече от предварително зададена стойност от експериментално измерената;
- решава се вътрешна обратна задача, състояща се в определяне на стойността на коефициента на топлопроводност K , при

която числено определената температура не се различава с повече от предварително зададена стойност от експериментално измерената. Всички останали величини остават непроменени.

За решаване на задачата се използва програмен продукт COMSOL MULTIPHYSICS с помощта, на които се представя разпределението на температурното поле в пластината в процеса на нагриване.

Последователността на решаване на задачата за симулационно моделиране на процесите на топлопренасяне включва следния алгоритъм:

1. Избани на подходящи входни данни необходими за изследване на топлинния процес;
2. Зададени са геометричните характеристики на 3D модела;
3. Избор на типа на анализа и задаване на материалите;
4. Избор и въвеждане на началните и гранични условия в модела;
5. Разделяне на изображението на крайни елементи;
6. Решаване на задачата;
7. Резултати;
8. Анализ на резултатите.

Математичен модел на нестационарното температурно поле в пластината

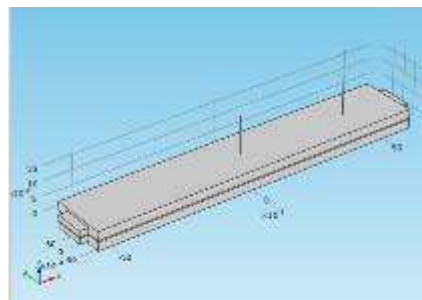
Математичната формулировка на нестационарния топлообмен в разглеждания геометричен модел се описва с оператора на Лаплас

$$\text{div } \overrightarrow{\text{grad}T} = \Delta T$$

и условията на еднозначност за решаването му, адекватни на реалното топлинно поведение на процеса на нагриване.

Геометрия на изследваната област

В средата на програмен продукт е създаден геометричен модел с размери $\delta=0.5$ mm, $h=10.8$ mm и $l=120$ mm, фиг.1.



Фиг.4 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.2. Тези зависимости са използвани при решаване на уравнение (1).

Таблица 2

Материал	Ср	К	ρ
	kJ/kg.K	W/(m.K)	kg/m ³
КП 0,8	450	60	7850
Cu	385	401	8940
Akterm	1500	0,0024	520

Начално и гранични условия

Процесът протича при стайна температура и се приема, че началното разпределение на температурата в пластината е следното

$$T(x,y,z,0) = T_0 = 293 \text{ K}$$

Използваните гранични условия са следните:

- по външните граници е зададено гранично условие от трети род ($h=25$ W/m²K)

$$n(-k\nabla T) = h(T_{ext} - T)$$

- по всички други граници е зададена адиабатна изолация

$$(-k\nabla T) = 0$$

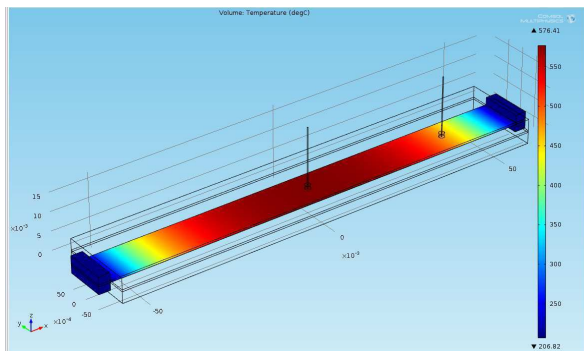
3. Резултати и анализ

Симулационният модел е решен в средата на програмен продукт COMSOL в резултат, на което е получено пълно описание на процеса на разпределение на температурното поле в изследваните участъци на пластината.

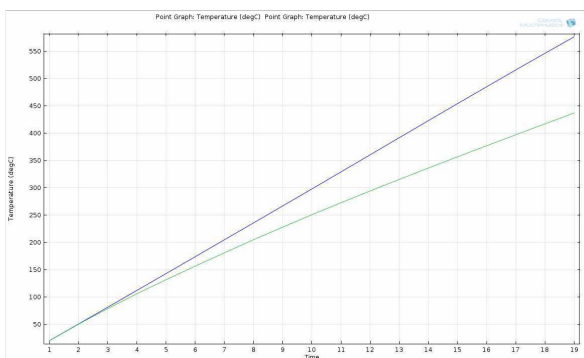
Получените резултати са дадени графично и от тях може да се направи нужната обосновка за определящото влияние на разпространението на температурното поле в нагриваните образци.

Резултатите от разпределението на температурното поле в изследваните образци са показани на фиг.5, 8, 11 и 14.

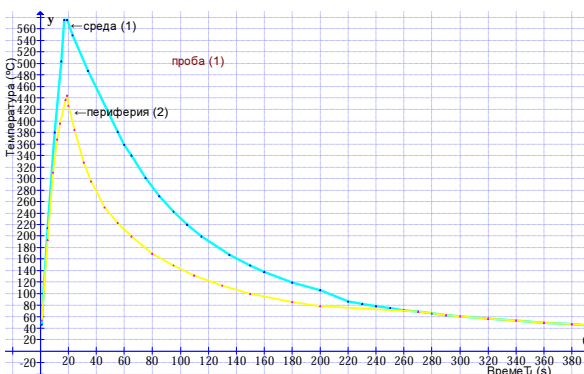
Теоретико-експерименталните резултати от влиянието на температурата като функция от времето в изследваните образци са показани на фиг.6, 7, 9, 10, 12,13, 15 и 16.



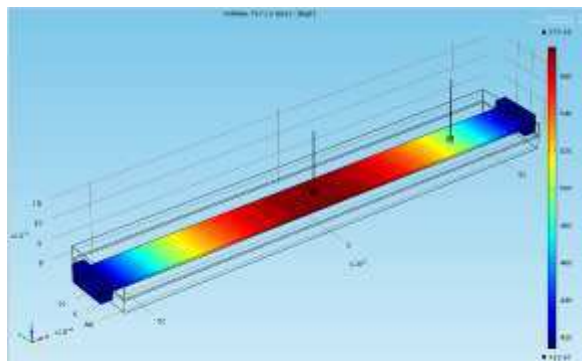
Фиг.5 Резултат от разпределението на температурното поле в образец 4



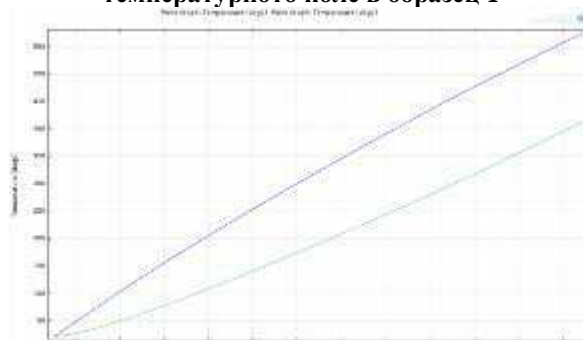
Фиг.6 Резултат от влиянието на температурата като функция от времето в образец 4 от Comsol



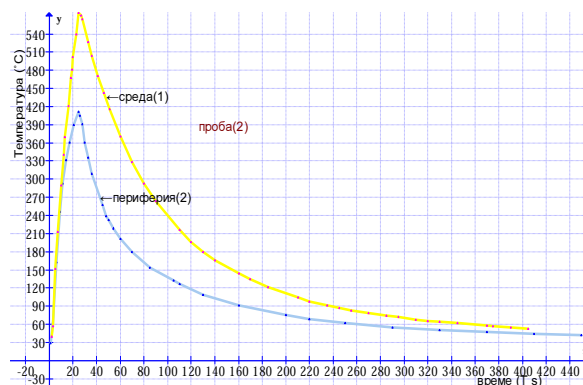
Фиг.7 Експериментален резултат от влиянието на температурата като функция от времето в образец 4



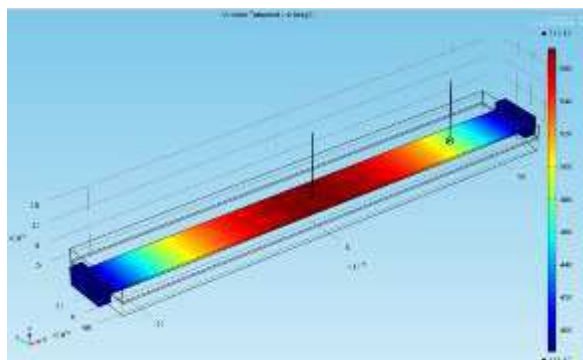
Фиг.8 Резултат от разпределението на температурното поле в образец 1



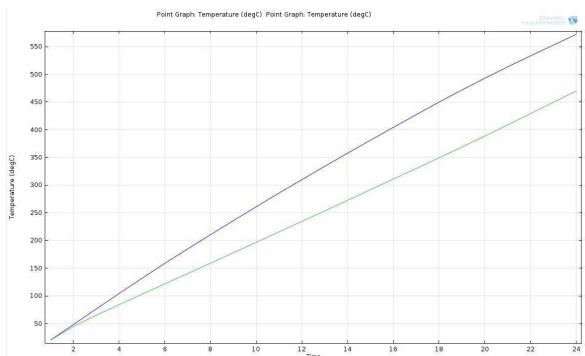
Фиг.9 Резултат от влиянието на температурата като функция от времето в образец 1 от Comsol



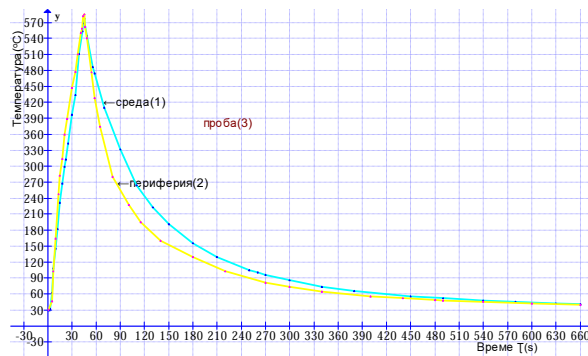
Фиг.10 Експериментален резултат от влиянието на температурата като функция от времето в образец 1



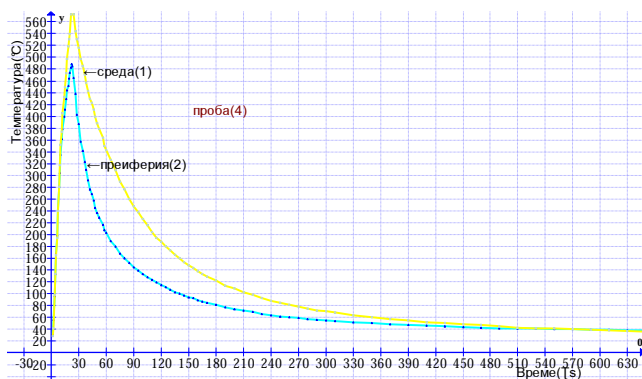
Фиг.11 Резултат от разпределението на температурното поле в образец 2



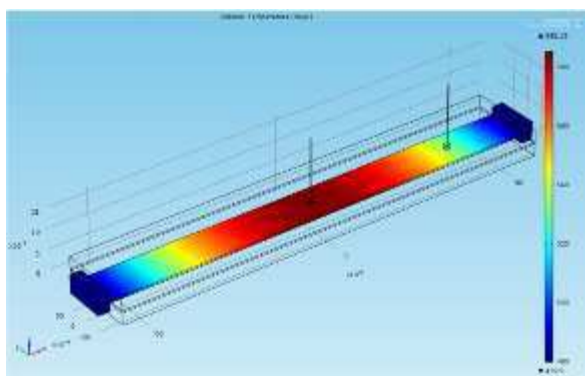
Фиг.12 Резултат от влиянието на температурата като функция от времето в образец 2 от Comsol



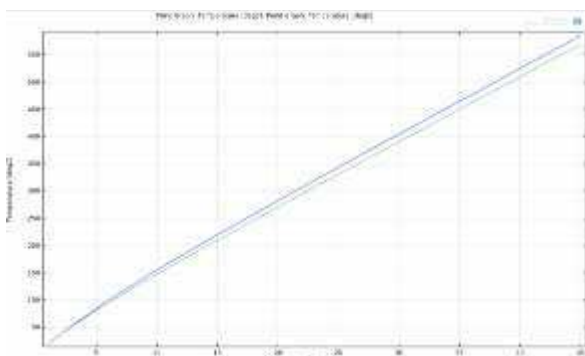
Фиг.16 Експериментален резултат от влиянието на температурата като функция от времето в образец 3



Фиг.13 Експериментален резултат от влиянието на температурата като функция от времето в образец 2



Фиг.14 Резултат от разпределението на температурното поле в образец 3



Фиг.15 Резултат от влиянието на температурата като функция на времето в образец 3 от Comsol

В резултат на теоретико-експерименталните изследвания на топлотехническите характеристики на изследваните образци по предложената по-горе методика се забелязва повишаване на коефициента на топлопроводност при образци № 1, 2 и 3. Коефициентът на топлопроводност на образец № 4 е 58 W(m.K).

При образец №1 това се дължи на факта, че той се характеризира с най-голяма дебелина на карбонитриден слой (ϵ -фаза), което оказва съществено влияние върху стойността му. Останалите образци са със значително по-тънки слоеве карбонитридни слоеве.

Образец №2 е окислен, което предполага охлаждане в окислителна среда, както е показано на циклограмата по-горе и води до обедняване на карбонитридният слой. Обедняването на слоя при образец №3 се дължи на повторното нагряване. От литературните източници [1], [2] може да се установи, че ϵ -карбонитрида при обезазотиране в процеса на нагряване в окислителна среда може да премине от $Fe_{2.3}NC$ до Fe_4NC и Fe_5NC . Обедняването на карбонитридната фаза вероятно води и до доближаване на стойността на коефициента на топлопроводност на образец №3 до този на образец №4.

Тези резултати съвпадат с експерименталните резултати, получени от електросъпротивителното заваряване където образец №1 се заварява трудно, почти невъзможно. Образци №3 и 4 се заваряват лесно.

При електросъпротивително заваряване стойността на коефициента на топлопроводност на заваряемите материали е

от съществено значение за тяхната износоустойчивост.

4. Изводи и заключение

От проведените по-горе теоретико-експериментални изследвания следва да бъдат направени следните изводи:

1. Разработена е методика с помощта, на която може да бъде определена стойността на интегралния коефициент на топлопроводност

2. От съпоставянето на теоретичното и експериментално изследване на температурите при електросъпротивителното нагряване, може да се направи извода, че симулационните изследвания чрез математичния модел, адекватно се пресъздават процесите на разпределение на температурното поле в реалния обект.

Разработеният симулационен алгоритъм за 3D моделиране на топлинните процеси при нагряване на образци с нанесени защитни покрития след ГКН, позволява използването на програмни продукти с помощта на които може да се предскаже протичането на процесите, като се варира с изходните параметри.

5. Означения

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

ρ – плътност, kg/m³;

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

∇T – температурен градиент;

T – температура, K;

5. Литература

[1]. Лахтин Ю.М., Коган Я.Д., Азотиrowание стали, Машиностроение, 1976

[2]. Мичев В., Гошков В., Димитров М., Химико-термично обработване на стомани, ДИ Техника, 1981

[3]. Смитлэ К.Д., Металлы, Справочник, Москва, Металургия, 1980

[4]. Тодоров Ц.Т., Теплопренасяне с примери и задачи, ДИ Техника, 1959

[5]. Тодоров Ц.Т., Теоретични основи на топлотехниката, ДИ Техника, 1970

[6]. Физические величины, Справочник, Энергоатомиздат, Москва, 1991

За контакти:

9010 Варна, ул. “Студентска” 1
Технически университет -Варна

гл.ас. инж. Ярослав Аргиров,
e-mail: jaroslav.1955@abv.bg

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

инж. Ивайло Иванов
e-mail: ivayloi85@gmail.com