

# СПЕЦИФИЧЕН ТОПЛИНЕН КАПАЦИТЕТ НА МЕТАЛИ

## SPECIFIC HEAT CAPACITY OF METALS

### ТЕПЛОЕМКОСТЪ МЕТАЛОВ

Ass. Prof. Dr. Eng Nachev N., PhD Eng. Tsokov L., Eng. Vassilev M.  
Technical University of Sofia, Bulgaria

**Abstract:** Subject of this paper is the specific heat capacity of metals for temperatures above 0 °C. Theoretical and empirical approach is used. General relation between isobar specific heat capacity and metals atomic mass is obtained. Empirical equations and their constants for some metals are presented.

**KEYWORDS:** SPECIFIC HEAT CAPACITY, METALS, ATOM MASS

### 1. Въведение

Времето, в което живеем е свързано с проблемите на енергоемкостта и енергоефективността на процесите в промишлеността. Важно място при тези анализи и оценки намира и една от основните термодинамични характеристики на металите – специфичния топлинен капацитет. Той характеризира топлоакмулиращите възможности на телата. При разглеждане на въпроса за термодинамичните свойства на твърдите тела е необходимо да се отчете типа на съответната кристална решетка. Типът на решетката определя съществено макроскопичните свойства и заедно с вида на кристалографическата симетрия се явява важна характеристика на твърдите тела.

Всяко твърдо тяло, метал или неметал може да се разглежда като тримерна решетка образувана от атоми. Най-съществен принос във вътрешната енергия на твърдото тяло се явява енергията от топлинните колебания на атомите в решетката.

### 2. Теоретичен подход

При теоретичния подход се изхожда от основни зависимости в термодинамиката, за специфичния топлинен капацитет. Известно е, че изохорния специфичен топлинен капацитет може да се представи посредством израза:

$$(1) \quad c_v = \left( \frac{\partial u}{\partial T} \right)_v$$

т.е. за да се определи „ $c_v$ ” на твърди тела по теоретичен път е необходимо да се знае температурната зависимост на вътрешната енергия.

Ако се приеме класическата теория за равномерно разпределение на енергията по степените на свобода в кристалната решетка за вътрешната енергия се получава:

$$u = 3.N.k.T$$

където:

- N – брой на молекулите;
- k – константа на Болцман;
- T – абсолютна температура.

След отчитане на (1) за изохорния специфичен топлинен капацитет се получава:

$$(2) \quad c_v = 3.R$$

Изразът (2) представлява закона на Дюлонг и Пти, установен по емпиричен път.

При металите – R е константа, която се определя от универсалната газова константа  $R_u = 8314 \text{ J/kmolK}$ , разделена на атомната маса „A”:

$$R = \frac{8314,51}{A}$$

За разлика от химичните съединения, химичните елементи в твърда фаза се намират в атомно състояние (дори когато в газови фази атомите им образуват молекули).

Изобарният специфичен топлинен капацитет  $c_p$  може да се определи посредством  $c_v$ , след като се отчете работата по топлинното разширение на твърдото тяло.

$$(3) \quad c_p = c_v + \frac{\beta^2 \cdot v \cdot T}{k}, \text{ J/kgK}$$

където:

- $\beta$  – температурен коефициент на обемно разширение;
- v – специфичен обем.

### 3. Емпиричен подход

По експериментален път се определя изобарния специфичния топлинен капацитет –  $c_p$ . Този подход дава възможност за получаване на достоверни данни. Това зависи от използваните методи и апаратура. Приемайки, че в този момент най-представителни са базата данни от [8], същите са използвани в работата за получаване на зависимост за специфичния топлинен капацитет от атомната маса на металите.

При обработката са включени експериментални данни за 20 метала. Същите са побрани така, че да обхващат 4, 5 и 6<sup>ти</sup> период от периодичната система за химичните елементи на Менделеев. От 3<sup>ти</sup> период е включен алуминий. След обработка за специфичния топлинен капацитет е получена апроксимационна зависимост от следния вид:

$$(4) \quad c_p = a + \frac{b}{A}$$

където:

- “a” и “b” – константи (a = 0,00947057; b = 24,3037);
- A – атомна маса.

Относителната грешка при апроксимацията основно е в граници от 0,5 ÷ 3 %, като има единични максимални стойности до 7,5 %. Зависимостта (4) може да се използва за приблизителни пресмятания в температурния интервал 10 ÷ 400 °C, като горната граница се влияе от вида на метала.

На база данни от [8] също е определена константата „B” за уравнение на Грюнаузен. В този случай е прието, че телата са изотропни и обемния коефициент на термично разширение е равен на 3 $\alpha$ , където  $\alpha$  е термичен коефициент на линейно разширение. Получени са данни за нови материали и доуточнения за някои по-стари, на база по-точни експериментални резултати (Табл. 1).

Таблица 1. Стойности на константата В за някои материали

Материал	$B \cdot 10^6$	Материал	$B \cdot 10^6$
Литий	48,60	Мед	129,12
Берилий	20,16	Цинк	670,74
Натрий	173,00	Галий	42,16
Магнезий	208,00	Германий	48,75
Калций	120,00	Арсен	54,54
Ванадий	50,79	Селен	461,90
Хром	43,98	Цирконий	62,14
Манган	143,71	Ниобий	81,22
Желязо	76,65	Талий	139,28
Кобалт	90,00	Кадмий	383,46
Никел	88,62	Сребро	78,24
Платина	209,76	Злато	327,69
Алуминий	80,43	Олово	678,45
Волфрам	103,83		

Изхождайки от данни в [4] след преработка се предлагат емпирични зависимости за „ $c_p$ ” на някои метали във вида:

$$(5) \quad c_p = a + b \cdot t, \text{ J/kgK}$$

където:

“а” и “b” – константи;

t – температура, °C.

В табл. 2 са представени стойностите на константите “а” и “b” от уравнение (5) и температурния интервал на приложение.

Таблица 2. Стойности на константите от уравнение (5) за някои материали

Материал	Температурен интервал – t, °C	a	b
Алуминий	20 ÷ 660	886,40	0,473
Никел	0 ÷ 400	428,37	0,456
Волфрам	0 ÷ 1 800	135,36	0,01729
Молибден	20 ÷ 2 000	254,50	0,05653
Мед	20 ÷ 1 000	358,20	0,105
Титан	20 ÷ 900	518,96	0,22

В [7] авторите са използвали емпирично уравнение от вида:

$$(6) \quad c_p = a + b \cdot T + \frac{d}{T^2}, \text{ J/kgK}$$

където:

“а”, “b” и “d” – константи;

T – температура, K.

Таблица 3. Стойности на константите от уравнение (6) за някои материали

Материал	a	b	$d \cdot 10^{-7}$
Злато	120	0,03	
Сребро	220	0,05	
Платина	120	0,03	0,2
Диамант	760	1,1	- 5,2
Графит	1430	0,356	- 7,3

При използване на стомани за определяне на „ $c_p$ ” е необходимо да се отчита влиянието на отделните елементи включени в състава, както и атомната маса и атомния процент на съдържащите се примеси. В [5] са получени емпирични зависимости за:

- въглеродни, ниско и среднолегирани и хромисти стомани в температурния интервал 50 ÷ 700 °C

$$(7) \quad c_p = 443 + 0,502 \cdot t - 0,6667 \cdot 10^{-3} \cdot t^2 + 1,202 \cdot 10^{-6} \cdot t^3,$$

J/kgK

- хромникелови стомани в температурния интервал 50 ÷ 900 °C

$$(8) \quad c_p = 461 + 0,4339 \cdot t - 0,5686 \cdot 10^{-3} \cdot t^2 + 0,3415 \cdot 10^{-6} \cdot t^3,$$

J/kgK.

#### 4. Заключение:

В разработката е направен анализ на проблема за определяне на специфичния топлинен капацитет основно на метали. Предложени са обобщени емпирични зависимости за определянето му при температури над 0 °C. Полученият израз за определяне на изобарния специфичен топлинен капацитет като функция на атомната маса може да се използва като източник на предварителна информация при разработване на нови материали и сплави.

#### 5. Литература:

1. Яковлев В.Ф. Курс физики. Теплота и молекулярная физика. Москва 1980.
2. Гершензон Е., Н.Малов, А. Мансуров, В. Етнин. Молекулярная физика.
3. Справочник по теплообменнику. Том 2. Пер. с англи. Под ред. О.Т. Мартиненко и др. Москва 1990.
4. Столович Н., Н. Миницкая. Теплофизические свойства некоторых металлов. Москва 1978.
5. Аронов М., Р. Прижионовский, Г. Немзер. Теплофизические свойства стали в режимах нагрева и охлаждения. Кузнечно – штамповочное производство № 8, 1988.
6. Теплотехнический справочник. Том 1 и 2. Москва 1976.
7. Начев Н., Л. Цоков, Л. Ташков – Топлотехника. София 2010.
8. NETZSCH. Analyzing and Testing. Thermal Analysis and Thermophysical Properties Testing.