



# AUTOMATED PROCESSING OF DATA OF MEASUREMENTS OF THE THERMAL-ELECTRIC-DRIVING FORCE AND MAGNETIC NOISE IN CONSTRUCTIONAL STEELS

Автоматизиранна обработка на данни измервания  
термо-електродвижущи сили и магнитни шумове в  
конструкционни стали

Velev G. St., Latkovski V. V<sup>1</sup>  
Bulgarian Academy of Science<sup>1</sup>  
E-mail: unitest@imbm.bas.bg

*The paper analyses some possibilities of automated processing of data registered by measuring the characteristics of the thermal-electric-driving force (TEDF) and magnetic noise (MN) in specimens made of constructional steel. Besides, the characteristics under consideration are thermal-electric-driving current  $E_T$  and magnetic noise current  $E_N$ . The study also presents algorithms of designing software for use by automated systems employed for the estimation of the experimental results. Two statistical methods for the classification of groups of specimens and products are developed. The classification is carried out on the basis of measured values of  $E_T$  and  $E_N$  when sorting constructional steels with respect to steel type (chemical composition) and thermal treatment (hardness). Various methods of data processing, such as cluster analysis and robust (stable) estimations, are used in the study. Those methods are appropriate for processing data with large scatter.*

**Key words:** Non-destructive testing, cluster analysis

## 1. Увод

В практиката на машиностроенето често възниква необходимост от класифициране на сравнително малки партии изделия на групи по химически състав (марка) или термообработка (твърдост). Класическата класификация чрез химически анализ или стандартно определяне на твърдост по Бринел или Роквел в много случаи е трудно реализуемо и това налага внедряване на методики и средства за неразрушаващо измерване. Данните от неразрушаващите измервания са с голямо разсейване [1,2,3], което налага използване на автоматизирана система за оценка на резултатите на основата на прецизно изготвени критерии за класификация [4,5]. Прилагат се методи със стандартни (еталонни) образци, генериращи обучаващи извадки [4] и методи чрез които се изграждат системи със самообучение [6].

## 2. Цел на работата

Целта на разработката е да се представят и изследват два метода за класифициране на групите по данни от измерените стойности на  $E_T$ ,  $\mu V$  и  $E_N$ ,  $\mu V$  при сортиране по марка и термообработка на конструкционни стомани - кластер анализ и робастни оценки [4,5,6], които са подходящи за данни с голямо разсейване.

## 3. Статистически метод за анализ на данни от измервания - кластер анализ

3.1. Нека имаме измервания, изписани във вида:

$$\left\{ x_{ij} \right\}_{i=n}^{(k)} \quad (1)$$

$$j=p$$

$$k=m$$

Където - n - брой на измерванията върху всеки образец;  
m- общ брой образци;  
p - брой на измерваните параметри.

Данните се подреждат по следния начин:

$$x_{(1)j} \leq x_{(2)j} \leq \dots \leq x_{(n)j} \quad (2)$$

Определят се средните стойности:

$$x_{ij}^{-(k)} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n x_{ij}^{(k)} \equiv y_{kj}, j=1, \dots, p, \quad (3)$$

Данните получени по (3) се подреждат по следния начин:

$$y_{(1)j} \leq y_{(2)j} \leq \dots \leq y_{(m)j}, \quad (4)$$

В (4) се оценява разстоянието на всяка от стойностите до съседната:

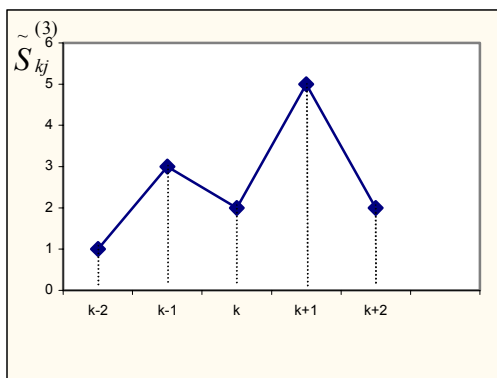
$$y_{kj} = y_{(k+1)j} - y_{(k)j}, j=1, \dots, n; p; k=2, \dots, m-2 \quad (5)$$

Разстоянията, оценени по (5) се подлагат на кластер анализ. В точките на съгъвяването на данните около минимумите на  $q_{kj}$  се намират търсените средни стойности на групите. Възможно е обединяване (изглаждане) на групите по три или повече измервания. Например по три измервания изглаждането се представя във вида:

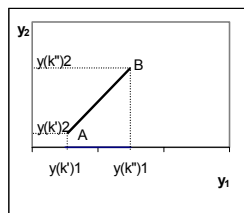
$$\tilde{S}_{kj}^{(3)} = \frac{1}{3} [q_{(k-1)j} + q_{kj} + q_{(k+1)j}], \quad (6)$$

$$j=1, \dots, p; k=2, \dots, m-2$$

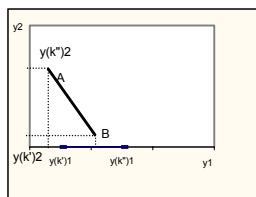
С цел да се отчете "ширината" на съответния минимум или максимум, се въвежда понятието "прилежаща площ". Например прилежащата площ към k-то измерване от s измервания  $S_{kj}^{(s)}$  се определя като се разглеждат по два трапеца в ляво и в дясно от k-то измерване, както е показано на фиг. 1



a)



b)



c)

Фиг. 1. Кластер анализ. Определяне на прилежаща площ

Пресмята се сумата на лицата по формулата:

$$S_{kj}^{(5)} = \frac{1}{2} q_{k-2,j}^{(3)} + q_{k-1,j}^{(3)} + q_{k,j}^{(3)} + q_{k+1,j}^{(3)} + \frac{1}{2} q_{k+2,j}^{(3)}$$

$$j = 1, \dots, p; k = 3; m = 3 \quad (7)$$

По получения ред в (7) се определя първия минимум:

$$k' : S_{kj}^{(5)} = \min S_{kj}^{(5)}; \quad 3 \leq k \leq m-3 \quad (8)$$

Числовото значение е  $y(k'')j$ . Вторият минимум се намира след като от реда  $S_{kj}^{(5)}$  се отстрани първият минимум и онези членове на реда, които са по-малки от двата съседни минимума и се получава числената стойност  $y(k'')j$ . Проверява се зависимостта  $y_2 = y_2(y_1)$  дали расте или намалява и се определят координатите на групи А и В (фиг. 1-b и фиг. 1-c). По представения по-горе алгоритъм след това се построява критерий за класификация [1] и се разработва програма за автоматизирана обработка на данни от измерване на  $E_T$  в образци от конструкционни стомани за сортиране по марка ст40 и ст40X.

### 3.2 Робастни оценки

Робастните (устойчиви) оценки се определят от (2), като средна стойност на измерванията, пресметната по формулата:

$$\bar{x}_m = \begin{cases} X(n) - \text{ако } n - \text{ четно число} \\ X^{(n+1)/2}, \\ 0,5[x_{(n/2)} + x_{(n/2+1)}] \end{cases} \quad (9)$$

- ако  $n$  - нечетно число

Определя се и разсейването  $S_m$  по формулата:

$$S_m = 1,48148 \text{med}(|x_k - \bar{x}_m|), \quad 1 \leq k \leq n \quad (10)$$

Където с  $X_m$  и  $S_m$  са означени съответно робастните оценки за средната стойност и нейното стандартно отклонение за дадена съвкупност група от данни от вида:

$$x_i = y_{(i,j,k)}^{(l)}, \quad (i = 1, \dots, n \text{ и } l, j, k \text{ са фиксирани}) \quad (11)$$

Данните се подреждат в нарастващ ред:

$$x_{(1)} \leq x_{(2)} \leq \dots \leq x_{(n)}, \quad (12)$$

След робастното осредняване по (10) (11) (12) на експерименталните данни в дадена група, нейните характеристики се представят с доверителен интервал във вида:

$$\bar{x} = C(\alpha)s \quad (13)$$

Където:  $\bar{x}$  е вектора на робастната средна стойност за групата,  $s$  - вектора на робастната оценка на стандартното отклонение;

$$c(\alpha) = m^{-0.5} + \left(\frac{\alpha}{2}; m-1\right) : + \left(\frac{\alpha}{2}; m-1\right)$$

- квантил на разпределението на Стюдънт при вероятност 1-d и степен на свобода m-1. За представения алгоритъм е разработена програма за автоматизирана обработка на данни и определяне на критерии за класифициране по твърдост на образци, от прътова стомана 40X с различна степен на термообработка. Проведени са по три независими комплексни измервания на термоелектродвижещо напрежение  $E_T, \mu V$  и магнитношумово напрежение  $E_{N, \mu V}$  [1,2]

### 4. Методика, апаратура

Обект на измерване са образци от прътова арматура, предназначена за предварително напрегнати строителни конструкции - кръгли профили  $\phi 20$  от стомана 40 и 40X. За провеждане на изследванията за сортиране по марка са формирани групи образци с еднакви механични свойства или химичен състав, като от всяка марка от кръглите профили са подбрани 5 до 10 броя образци с размери  $\phi 20 \times 100 \text{mm}$ . Принадлежността им към съответна марка е гарантирана в най-голяма степен чрез химичен анализ. За класифициране по твърдост са подбрани група образци със същите размери  $\phi 20 \times 100 \text{mm}$  от най-използвани конструкционни стомани 40X с различна степен на термообработка и твърдост, показани в Таблица 1 [2,3]:

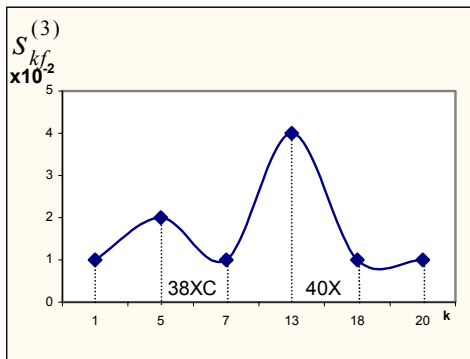
Таблица 1. ТО на обр. от ст40x

групи	ТО; Тзак-840°C	Време на задържане	HRC
1	Само Тзак.	15'	37-39
2	Тз + Тотв. 500°C	30'	27-29
3	Тз + Тотв. 550°C	30'	27-28
4	Тз + Тотв. 600°C	30'	23-24

Измерванията на термоелектродвижещото напрежение -  $E_T$  и магнитното шумово напрежение  $E_{NB}$ , се провеждат с приложни термоелектрически и магнитно-шумови преобразователи съгласно средствата и методите описани в [2,1].

## 5. Експериментални изследвания:

На фиг.2 са представени данните от кластер-анализа на данните от измерване на термо е.д.н.  $E_T$  ординатата е нанесена величината  $\bar{S}_{kj}$ , пресметнати по (6), а по абсцисата присвоения номер на образците при подреждане на измерванията.

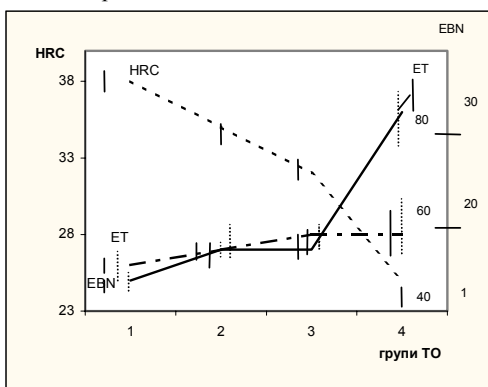


Фиг. 2. Кластер анализ на данни от измерване на  $E_T$  образци от конструкционна стомана 38XC и 40X

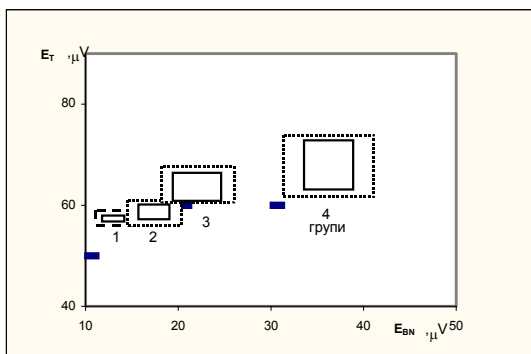
От представената графика на фиг.2 се вижда, че кластер-анализа се формират минимумите, съответстващи на отделните марки.

На фиг.3 са показани резултатите от определяне на твърдостта по HRC (по размаха на данните), с пункт. линия доверителните класически интервали и робастните интервали за измерваните параметри  $E_T$  и  $E_{BN}$ , съответно представени с плътни и прекъснати линии

На фиг.3 са представени характеристичните области [3]. При комплексно измерване на  $E_T$  и  $E_{BN}$  при класифициране на образците по твърдост, на основата на класически и робастни оценки при степен на вероятност 0,9, съответно представени с прекъснати и плътни линии.



Фиг.3. Размах на данните от определяне на твърдост по HRC, класически и робастни интервали при измерване на  $E_T$  в групи образци от стомана 40X с еднаква термообработка



Фиг. 4. Характеристични области при  $E_T$  и  $E_{BN}$

## 6. Анализ на получените резултати

От фиг.2 се вижда, че с кластер-анализа уверено се разделят групите образци принадлежащи към марките 40 и 40X само с измерване на  $E_T$ . Следователно той е приложим, там където възниква необходимост от класифициране на сравнително малки партиди изделия (50-60 бр.) на групи по марка (химически състав).

От фиг.3 се вижда, че разделянето на групи с класическите доверителни интервали се различава от това с робастните интервали. В дадения случай, по-следните дават по-точна класификация на отделните групи опо твърдост на стомана 40X.

Анализът на резултатите представени на фиг.4 показва, че разделянето на групи по класическите доверителни интервали съществено се различава от тези на робастните оценки. За групи образци с еднаква термообработка, характеристичните области, формирани от робастните интервали са по-стеснени от тези на класическите оценки. Следователно робастните доверителни интервали дават една значително по-достоверна оценка за формиране на критерии за неразрушаваща класификация на ТО на ст.40X.

## 7.Изводи

-Кластер анализът е приложим при обработка на данни от измерване на  $E_T$  в образци от конструкционна стомана за сортиране по марка (химически състав).

-Робастните интервални оценки са подходящи при овровка на данни от класификационна образци от конструкционна стомана с еднаква ТО.

-Резултатите от изследването на двата статистически метода за обработка на данни, дават основание да се приложат при разработването на софтуера за автоматизирана система за неразрушаващ контрол на метали в реални условия.

## 8.Литература:

- 1.Миховски М., В. Велев, А. Андонова и др. Възможности за използване метода на ТЕДН за определяне на ф-п. с. и безразрушителен контрол на материали., V НТК Деф. 85, Варна, 1985, 44-48.
- 2.Велев Г., Пл. Пъшев, Й. Салтиел и др. Уред за магнитношумов безразрушителен контрол УБКМ-2. IX НТК Деф. 89,91-94, Пловдив, 1989.
- 3.Велев Г. Автоматизиран безразрушителен контрол на ТО на конструкционни стомани. Ст. и Кач., 1990, 3, 15-17.
- 4.Енютков И.С. Прикладные программное обеспечение многомерной статистики. Мир, Москва, 1986.
- 5.Райзен Дж. Класификация и кластер анализ. Мир, Москва, 1978.
- 6.Дюран Б., П. Одела. Кластерный анализ. Москва, Статистика, 1971.
- 7.Горелик А. Л., В. А. Скрипкин Методы распознавания. Мир, Москва, 1984.