

## Ефект на самоорганизация на трибосистемата „инструмент-стружка” след магнитно ултразвукова обработка

доц. д-р. инж. А. И. Македонски – Технически университет - София, Ст.н.с. д-р. инж. Б.Г.Македонски, д-р. инж. И. Вилчик – Чешки технически университет-Прага, инж. П. И. Манолев - Parsons E&G, Bulgaria

**Резюме:** Обобщеният анализ на фактите от задълбочените лабораторни и производствени изследвания позволи да се направи заключението, че увеличената съпротивителна способност на феромагнитните материали (режещи инструменти и детайли) обработени по комбинираната магнитно-ултразвукова технология е следствие на предизвикани процеси в два последователни етапа: първият е свързан с образуването на нова повърхнина (с подобрени структурни и физико-химични характеристики) върху обработените материали; вторият, с промяна в условията на триене, респ. на контактното взаимодействие, довеждащи до структурна приспособляемост, самоорганизация на трибосистемата вследствие на постигнатото в първи етап.

За да се изключи всякакво съмнение, че работата с инструменти предварително подложени на магнитно-ултразвукова обработка води до промяна в условията на рязане и контактното взаимодействие “инструмент-стружка”, бяха проведени продължителни и независими сравнителни изследвания за процеса свредловане в условията на катедра “Производствени технологии” в ТУ-Прага, Р.Чехия.

**Ключови думи:** енергия на активиране, запасена енергия, самоорганизация.

### 1. Въведение

В съответствие с първият принцип на термодинамиката работата от силите на триене  $A_{тр}$  основно се преобразува в топлина  $Q$  и една малка част  $\Delta E$  се запасява (отделя) в материалите на трибосистемата:  $A_{тр} = Q + \Delta E$ . Изследването на енергетичния баланс на триене с помощта на прецизни методи е позволило да се установи, че от условията на триене зависи не само общата големина на работата за триене но и съотношението между основните и съставляващи- количеството на запасената енергия и количеството на отделената топлина. Това съотношение, характеризиращо работоспособността на трибосистемата, се определя от значенията на нормалното натоварване -  $P$ , скоростта на относително преместване -  $v$  и вектора на параметрите на триене -  $\dot{C}$  (свойства на материалите, среда, температура и т.н.) [1]:  $\Delta E/Q = f(P, v, \dot{C})$ . Главната съставляваща на енергетичният баланс на триене е запасената енергия. Големината на  $\Delta E$  е от решаващо значение при формирането на силите на триене, определя закономерностите на образуване на нови структури, големината и характера на тяхното последващо разрушаване. Анализът на закономерностите на енергетичния баланс, съвместен с анализа на структурата и елементния състав на триещите се повърхности, позволява да се направи заключението, че всички процеси при триене се явяват резултат на две основополагащи явления - активиране, увеличаване на свободната енергия на материалите на трибосистемата и пасивация, нейното намаляване.

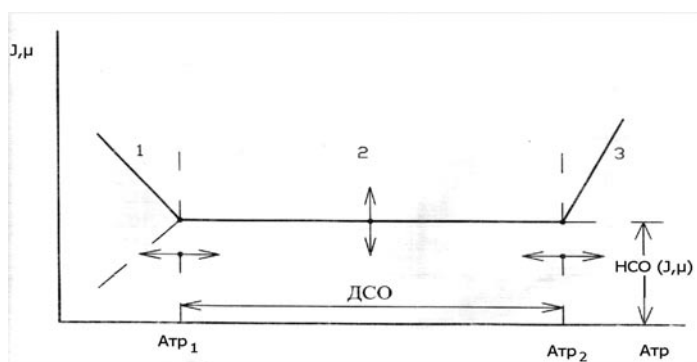
Опростеното представяне на силата на триене като функция на нормалното натоварване се оказва несъстоятелно както в теоретичен така и в експериментален план. Установено е, че силата на триене се явява не функция на нормалното натоварване, а оператор на процеса, възникващ при едно или друго съчетание на нормалното натоварване, скоростта на плъзгане и вектора на параметъра на триене [2].

Проблемите на процеса на самоорганизация при триене се отнасят към областта “високопараметрично” състояние на веществата- висока концентрация на енергия, високи скорости, високи налягания, аномални агрегатни състояния. Възникват структурни и фазови състояния, отсъстващи в диаграмите на равновесните системи. При изследване на процеса на вторично структурообразуване, проведен с помощта на електронно трансмисионна и растерова микроскопия, рентгено-спектрален и оже-спектрален анализ, електронография, рентгенография и радиоактивни индикатори, е установено, че традиционните механизми на обемна пластична деформация при триене на металите в условията на самоорганизация на трибосистемата напълно се изключват. Кинетичният фазов преход довежда до нови механизми на пластичност, деформация и разрушаване [3]. Същественото е, че кинетичният фазов преход в режим на самоорганизация и образуване на вторична структура не е произволен, а се управлява от минимални принципи. Всички вза-

имодействия при триене в режим на самоорганизация се локализируют в тънката повърхностна ципа.Противат мащабни скокове.Установено е, че вторичните структури се явяват устойчиви и притежават свойства на самоорганизация[4,5].

Фундаментално енергетично условие на самоорганизация на материалите на трибосистемата се явява такова динамично равновесие на процесите на трибоактивиране и пасивация,при което активната част на енергията на активиране- $G_{\text{Аеф}}$ , е еквивалентна на запасената енергия- $\Delta E$ , намираща се в граничните стойности на енергията,необходима за образуването на вторична структура- $G_{\text{Вс}}$  :  $G_{\text{Аеф}} = G_{\text{Вс}}$ . При нарушаване на това условие възниква повреждаемост. Отношението на  $G_{\text{Аеф}}$  към общата енергия на активиране  $G_{\text{Аобщ}}$ , (работата за триене-  $A_{\text{тр}}$ ) се оценява с коефициента на запасената енергия-  $K_3$ . Големината на  $K_3$  определя диапазона на самоорганизация (ДСО) и оказва съществено влияние на нивото на самоорганизация (НСО),при оптимално решение  $K_3 \rightarrow \min$ . Главно средство за минимизация на  $K_3$  е прилагането на **методи за повърхностно уякчаване**.

Резултатите от процеса на самоорганизация и образуване на защитна вторична структура се оценяват с диапазона на самоорганизация (ДСО) и нивото на самоорганизация (НСО), нормализирани показатели на триенето и износването (фиг.1).Разкриването диапазона на самоорганизация и нивото на самоорганизация на една трибосистема определя постановката на всички практически задачи.



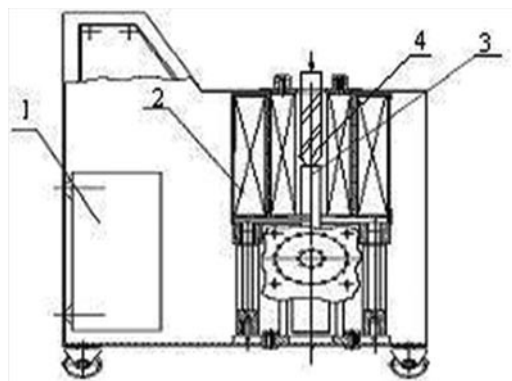
Фиг.1.Схема на самоорганизация (СО) на процесите на триене и износване:1-област на неустановените процеси;2-диапазон на СО;3-област на повреждаемост [6].

## 2. Експериментално изследване

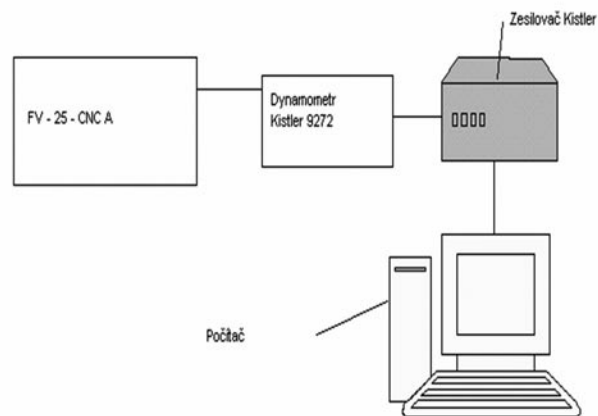
За изследване влиянието на комбинираната магнитно-ултразвукова обработка на зависимите променливи при свредловане (осова сила  $F_o$  и въртящ момент  $M_b$ ) в условията на Технически университет –Прага, катедра „Производствени технологии“ бяха проведени изследвания за процеса свредловане[7]. Използвани са свредла с  $\phi 2,3\text{mm}$  от бързорежеща стомана-HSS 02 ČSN221121.Една част от тях са подложени на комбинирана магнитно-ултразвукова обработка в устройство „МУЗ-1“(фиг.2) в условията на Технически университет-София, като е използван за обработването режим при който в предшестваша изследвания е регистрирано значително нарастване на трайността на винтови свредла, а именно: $H=157\text{kA/m}$ -напрегнатост на постоянно магнитно поле;  $\tau =60\text{s}$ -продължителност на обработване и постоянна честота на ултразвуковите колебания  $F=20\pm 1\text{ kHz}$ [8].

Материалът на заготовката е стомана M45.Експериментите са проведени на фрезова машина модел FV25 с ЦПУ, като са използвани три режима на рязане(таблица1), при постоянна дълбочина на пробиваните отвори  $L=3d$ . Работено е без използването на смазочно-охлаждаща течност.Осовата сила и въртящия момент в процеса на рязане са измервани с четирикомпонентен динамометър-модел Kistler-9272 свързан в едно с управляваща програма Dinoware (фиг.3). С всяко свредло винаги са пробивани последователно по пет отвора, а управляващата програма изчертава графичните зависимости за осовата сила и въртящия момент, с последващо усредняване на резултатите от повторните опити. По този начин е сведено до минимум влиянието на случайните фактори върху крайния резултат от изследването.Освен това на всеки 10 пробити отвора с помощта на оптически микроскоп ZEISS с дигитален фотоапарат е документирано износването (фиг.4), а работата с всяко свредло продължава до достигане на износване по една от задните му повърхнини  $VB_{\text{max}}=0,5\text{mm}$ , или счупване на свредлото.

С помощта на продукта Excel 2007 е създадена програма за обработване и автоматизирано пресмятане на резултатите от получените графични зависимости.



Фиг.2. МУЗ-1-разрез: 1-ультразвуков генератор; 2-индуктор ;3- пиезоелектрически преобразувател с вълновод; 4-обработвано свредло.



Фиг.3.

### 3. Резултати и обсъждане

В таблица 1 са показани отчетените резултати за въртящия момент и осовата сила за приетите условия на рязане при работа с нормални свредла и единични на тях, но предварително обработени с посочения режим в устройство „МУЗ-1“.

В таблица 2 са дадени последователно отчетените стойности за средното- $VB_k$  и максималното износване- $VB_{max}$  при пробиването на 50 отвора с режим на работа :  $V_c = 25 \text{ m/min}$ ;  $f = 0,05 \text{ mm / об}$ .

От резултатите се вижда, че като цяло работата с предварително обработените свредла и за трите режима на рязане протича при значително облекчени производствени условия, благоприятстващи технологичната система „машина-приспособление-инструмент-детай“, изразяващи се конкретно :

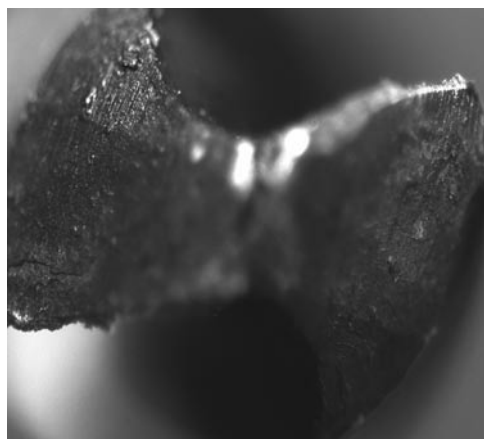
- намаляване на въртящия момент от 89÷500% и осовата сила от 14÷79%;
- намаляване на износването от 1,94÷2,39 пъти;
- значително намалено счупване на свредлата.

Таблица 1.

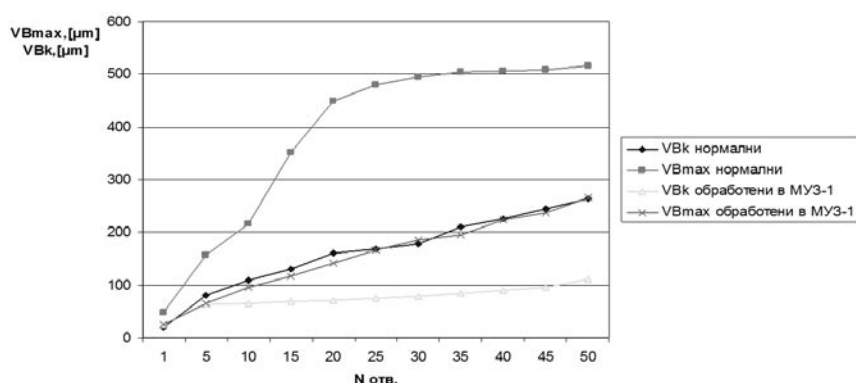
| Брой про-<br>бити<br>отво-<br>ри | $\varnothing 2.3 \text{ mm}$ ; $V_c = 25 \text{ m/min}$ ; $f = 0.05 \text{ mm/об}$ |              |                    |              | $V_c = 30 \text{ m/min}$ ( $4153 \text{ mm}^{-1}$ ); $f = 0.06 \text{ mm/об}$ |              |                    |              | $V_c = 25 \text{ m/min}$ ( $5000 \text{ mm}^{-1}$ ) $f = 0.07 \text{ mm/об}$ |              |                    |              |
|----------------------------------|--|--------------|--------------------|--------------|---|--------------|--------------------|--------------|--|--------------|--------------------|--------------|
|                                  | Нормални   |              | Обработени в МУЗ-1 |              | Нормални  |              | Обработени в МУЗ-1 |              | Нормални   |              | Обработени в МУЗ-1 |              |
|                                  | $M_B$<br>[N.mm]  | $F_0$<br>[N] | $M_B$<br>[N.mm]    | $F_0$<br>[N] | $M_B$<br>[N.mm]   | $F_0$<br>[N] | $M_B$<br>[N.mm]    | $F_0$<br>[N] | $M_B$<br>[N.mm]  | $F_0$<br>[N] | $M_B$<br>[N.mm]    | $F_0$<br>[N] |
| 1                                | 23   | 312          | 12                 | 193          | 24  | 219          | 15                 | 200          | 23   | 321          | 13                 | 149          |
| 5                                | 34   | 284          | 18                 | 220          | 50  | 179          | 13                 | 192          | 33   | 269          | 12                 | 165          |
| 10                               | 29   | 363          | 15                 | 211          | 31  | 277          | 12                 | 186          | 62   | 265          | 14                 | 173          |
| 15                               | 40   | 303          | 14                 | 216          | 38  | 211          | 12                 | 194          | 46   | 389          | 16                 | 239          |
| 20                               | 32   | 345          | 14                 | 209          | 32  | 207          | 16                 | 203          | 42   | 324          | 12                 | 181          |
| 25                               | 35   | 303          | 13                 | 165          | 36  | 255          | 19                 | 222          | -  | -            | 12                 | 160          |
| 30                               | 27   | 275          | 14                 | 200          | -   | -            | -                  | -            | -  | -            | 11                 | 192          |
| 35                               | 46   | 365          | 13                 | 189          | -   | -            | -                  | -            | -  | -            | 12                 | 191          |
| 40                               | 22   | 314          | 13                 | 185          | -   | -            | -                  | -            | -  | -            | 12                 | 231          |
| 45                               | 37   | 298          | 11                 | 207          | -   | -            | -                  | -            | -  | -            | 13                 | 170          |
| 50                               | 76   | 310          | 15                 | 200          | -   | -            | -                  | -            | -  | -            | 12                 | 219          |

Таблица 2.

| След<br>брой<br>отвора | ИЗНОСВАНЕ НА СВРЕДЛАТА |                   |                        |                   |
|------------------------|------------------------|-------------------|------------------------|-------------------|
|                        | Нормални               |                   | Обработени в “МУЗ-1”   |                   |
|                        | VB <sub>к</sub> , [μm] | VB <sub>max</sub> | VB <sub>к</sub> , [μm] | VB <sub>max</sub> |
| 1                      | 20                     | 48                | 25                     | 24                |
| 5                      | 80                     | 157               | 64                     | 65                |
| 10                     | 109                    | 216               | 65                     | 95                |
| 15                     | 130                    | 351               | 68                     | 117               |
| 20                     | 160                    | 450               | 70                     | 141               |
| 25                     | 168                    | 480               | 75                     | 166               |
| 30                     | 177                    | 495               | 79                     | 186               |
| 35                     | 210                    | 504               | 85                     | 194               |
| 40                     | 225                    | 506               | 90                     | 223               |
| 45                     | 245                    | 509               | 95                     | 237               |
| 50                     | 263                    | 515               | 110                    | 265               |



Фиг.4.Износване на нормално свредло -  
VB<sub>max</sub> = 0,515 μm



Фиг.5. Криви на износване на нормални и магнитно-ултразвуково обработени свредла

#### 4. Изводи

Проведеното изследване, обсъждането на експерименталните резултати и анализа на получената графична зависимост (фиг.5) позволяват да се заключи, че работата с инструменти след магнитно-ултразвукова обработка е съпроводена с промяна в условията на рязане и контактното взаимодействие “инструмент-стружка”. Степента на получаваният ефект е в пряка зависимост от внесените положителни промени в инструменталните материали от прилаганата обработка, а именно повишена дислокационна плътност, и протекли интензивни релаксационни процеси на натрупване на по-голям брой атоми на внедряване в атмосферите на Котрел около дислокациите[8].

#### Литература

1. Гуревич Д.М. Износ твърдосплавного инструмента при високих скоростях резания-Вестник машиностроения, 1975, №5, с.68-69.
2. Иванов М.К., Исследование связи износостойкости с эдс, возникающей при трении металлов, Автореф. канд.дис., Ростов-н/Д, 1975.
3. Зорев Н.Н., Д.Н.Клауч, В.В.Батырев и др., О процессе износа твёрдосплавного инструмента-Вестник машиностроения, 1971, №11, с.70-73.
4. Гуревич Д.М. Причины образования экстремума стойкостной зависимости твёрдосплавного инструмента-Вестник машиностроения, 1976, №12, с.30-33.
5. Кабалдин Ю.Г., Хрупкое разрушение режущей части инструмента-Вестник машиностроения, 1981, №7, с.41-42.
6. Костецкий Б.И., Самоорганизация технических трибосистем//Надежность и долговечность машин и сооружений, Киев, 1989, №15, с.46-52.
7. Ziad Nabih Abdou. Experimentální výzkum šroubových vrtáků, Diplomová práce, ČVUT-Fakul
8. strojní, Praha 2007.
9. Македонски А.И.Електрофизична технология за повишаване износоустойчивостта на ферромагнитни материали, Дисертация д.т.н., София, 2005.