

## СПИЧАНЕ НА ПРАХОВОМЕТАЛУРГИЧНИ МАТЕРИАЛИ ОТ СИСТЕМАТА ЖЕЛЯЗО-ФОСФОР

### SINTERING OF POWDER METALLURGY MATERIALS FROM IRON-PHOSPHORUS SYSTEM

**Иван Митев**

кат. "МТМ"

ТУ – Габрово

**Иван Винеv**

кат. "МТМ"

ТУ – Габрово

#### Abstract

*This paper observes the influence of sintering process on the mechanical properties of iron powder materials ASC100.29 types with 0,45%P alloying. They are pressed at 600MPa, and were sintered at 900÷1150 °C during 15÷90min. period in 75% $H_2$  + 25% $N_2$  and endogas settings. Are presented graphic and tabular dependencies of tensile strength; yield strength, elongation, hardness, and dimensional change, as a function of the sintering process.*

**Keywords:** powder metallurgy, tensile strength; yield strength, elongation, hardness, dimensional change

#### ВЪВЕДЕНИЕ

Основните особености при спичане на многокомпонентни системи в праховата металургия могат да се сведат до следните три [1, 3]:

- ✓ *понижаване на свободната енергия;*
- ✓ *зависимост от вида диаграма на състояние на елементите съставляващи системата;*
- ✓ *наличие на хетеродифузия.*

Прието е да се разглеждат два вида механизми за многокомпонентно спичане на праховометалургични материали:

- ✓ *твърдофазно спичане;*
- ✓ *спичане при наличие на течна фаза.*

За разглежданата от нас система Fe-P, процеса на синтероване се осъществява по втория механизъм [2].

Спичането при наличие на течна фаза е процес, при който температурата на работната среда обезпечава появяването ѝ. Най-често тя се образува при нагриване на леснотопими компоненти или съставляващи – евтектики, като облекчава развитието на силите на сцепление между отделните частици прах. Това обаче се постига само в тези случаи, когато течността ги умокря достатъчно

добре. При лошо умокряне, когато ъгълът на умокряне е по-голям от 90°, течната фаза затруднява спичането и пречатства уплътняването между частиците прах.

В присъствието на течна фаза съществено се увеличава скоростта на дифузия между компонентите и се облекчава преместването на твърдите частици една спрямо друга. При добро умокряне след появяване на течна фаза между твърдите частици се формира изкривена повърхност на течността, върху която действат капилярни сили стремящи се да сблизят частиците [1]. В резултат на това може да се смята, че спичаното тяло се намира под равномерно, всестранно натисково налягане. При добро умокряне течността прониква в контактните участъци и рязко намалява триенето между частиците прах и тяхното заклиняване. Частиците се сблизават и протича свиване, чиято скорост е твърде висока. В присъствието на течна фаза, в която се разтварят твърдите частици се интензифицира процеса на масопренос. Паралелно с това следствие възникване на разклиняващо налягане е възможно да се увеличи напрежението в зоната на междучастичните контакти. В резултат на което се създават

условия за възникване на нови дефекти с повишена подвижност, което от своя страна рязко увеличава скоростта на спичане [1].

## ИЗЛОЖЕНИЕ

От представените по-горе факти се вижда, че спичането на прахови детайли в течни среди притежава значителни физични и технологични предимства в сравнение със спичането в твърди среди. Заедно с това обаче в практиката все още непълно са изучени свойствата на тези детайли и сплави, които се формират при спичане в присъствието на течна фаза.

В тази връзка целта на настоящото изследване е да се проследи влиянието на технологичните параметри на процеса спичане върху механичните свойства на желязо-фосфорни образци.

На изследване са подложени образци от железен прах тип ASC 100.29, които допълнително са легирани с 0,45%P.

При изработване на опитните образци желязните прахове са смесени в смесител „Turbol”, като за подобряване пресуемостта им към основните компоненти в смесителя е добавено и 0,8% мазилно вещество „Kenolube”.

Пресоването е осъществено на хидравлична преса в затворени пресформи с усилие от 600 МПа, в резултат на което след синтероване са получени образци с плътност варираща в границите –  $7,07 \div 7,12 \text{ g/cm}^3$  – таблица №1.

Синтероването е проведено в проходни пещи със защитна атмосфера от дисоцииран амоняк  $/75\% \text{H}_2 + 25\% \text{N}_2/$  и ендогаз, при температури  $900 \div 1150^\circ \text{C}$  в продължение на  $15 \div 30 \text{ min}$ .

Изследванията за якостните характеристики са осъществени съгласно EN 10045-1, като в конкретният случай е използвана универсална изпитателна машина от типа ZD 40 PU, с обхват на прилаганото усилие в границите  $100 \div 1000 \text{ kN}$ .

При изпитване на опън и огъване са използвани специално изработени пробни тела, които за праховометалургичните материали съгласно БДС1086-88, притежават правоъгълно напречно сечение и глави осигуряващи сигурното им захващане в челюстите на изпитващата машина

На изследване са подлагани по 5 броя образци, като в таблица №2 са показани средните стойности от измерванията.

Плътност на образците Таблица № 1

| № по ред | Пресово усилие, МПа | Плътност на образците, $\text{g/cm}^3$ |                    |
|----------|---------------------|----------------------------------------|--------------------|
|          |                     | $\rho$                                 | $\rho_{\text{ср}}$ |
| 1        | 2                   | 3                                      | 4                  |
| 1        | 600                 | 7,08                                   | 7,10               |
| 2        |                     | 7,12                                   |                    |
| 3        |                     | 7,07                                   |                    |
| 4        |                     | 7,11                                   |                    |
| 5        |                     | 7,12                                   |                    |

Якостни характеристики Таблица №2

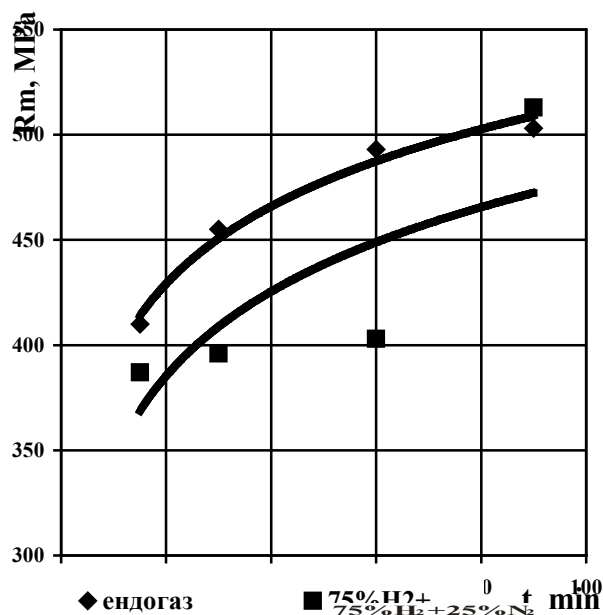
| № по ред | t, min | Защитна атмосфера |         |                                     |         |
|----------|--------|-------------------|---------|-------------------------------------|---------|
|          |        | ендогаз           |         | $75\% \text{H}_2 + 25\% \text{N}_2$ |         |
|          |        | Rm, МПа           | Rm, МПа | Rm, МПа                             | Rm, МПа |
| 1        | 2      | 3                 | 4       | 5                                   | 6       |
| 1        | 15     | 410               | 387     | 297                                 | 237     |
| 2        | 30     | 455               | 396     | 315                                 | 276     |
| 3        | 60     | 493               | 403     | 343                                 | 305     |
| 4        | 90     | 503               | 513     | 397                                 | 317     |

Експериментални резултати Таблица №3

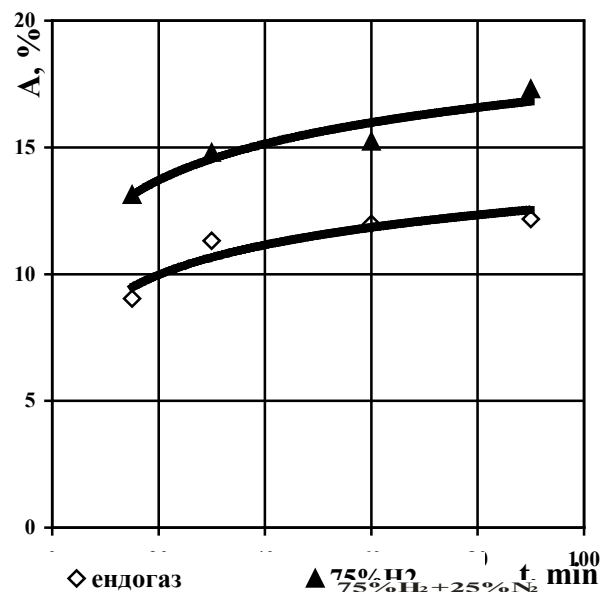
| № по ред | t, min | Защитна атмосфера |     |                |                                     |     |                |
|----------|--------|-------------------|-----|----------------|-------------------------------------|-----|----------------|
|          |        | ендогаз           |     |                | $75\% \text{H}_2 + 25\% \text{N}_2$ |     |                |
|          |        | A, %              | HV  | $\Delta l$ , % | A, %                                | HV  | $\Delta l$ , % |
| 1        | 2      | 3                 | 4   | 5              | 6                                   | 7   | 8              |
| 1        | 15     | 9,1               | 127 | -0,11          | 13,1                                | 103 | -0,24          |
| 2        | 30     | 11,3              | 143 | -0,18          | 14,8                                | 119 | -0,28          |
| 3        | 60     | 11,9              | 151 | -0,21          | 15,2                                | 131 | -0,31          |
| 4        | 90     | 12,2              | 157 | -0,22          | 17,3                                | 137 | -0,33          |

Графичната интерпретация на тези резултати в координати якост/ продължителност на синтероване, са показани на фиг.1 и 2 съответно за якостта на опън и огъване.

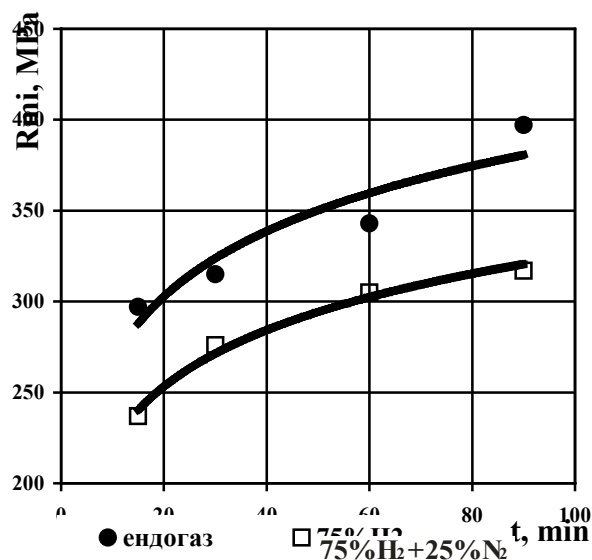
За останалите изследвани механични характеристики – относително удължение, твърдост по Викерс и промяна в линейните размери при различна продължителност на синтероване в среда от ендогаз и дисоцииран амоняк, експерименталните резултати са представени в таблица №3, а графичната интерпретация на фиг.3, 4 и 5.



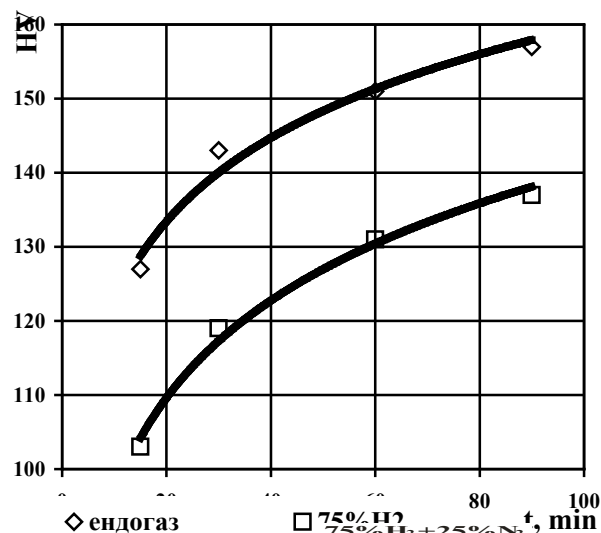
Фиг. 1. Якост на опън за образци след синтероване при 1150 °С, в среди от ендогаз и дисоцииран амоняк



Фиг. 3. Относително удължение за образци след синтероване при 1150 °С, в среди от ендогаз и дисоцииран амоняк



Фиг. 2. Якост на огъване за образци след синтероване при 1150 °С, в среди от ендогаз и дисоцииран амоняк



Фиг. 4. Твърдост по Викерс за образци след синтероване при 1150 °С, в среди от ендогаз и дисоцииран амоняк

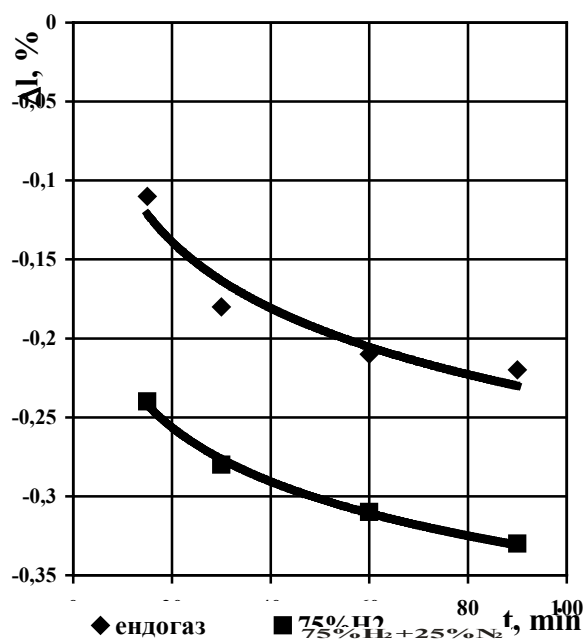
Аналогично на предходните изследвания са проведени и експерименти при постоянна продължителност на синтероване – 30min и температури на спичане вариращи в интервала 900÷1150 °С.

Резултатите за получените стойности при определяне на якостните характеристики са представени в таблица №4, а за останалите изследвани параметри в таблица №5.

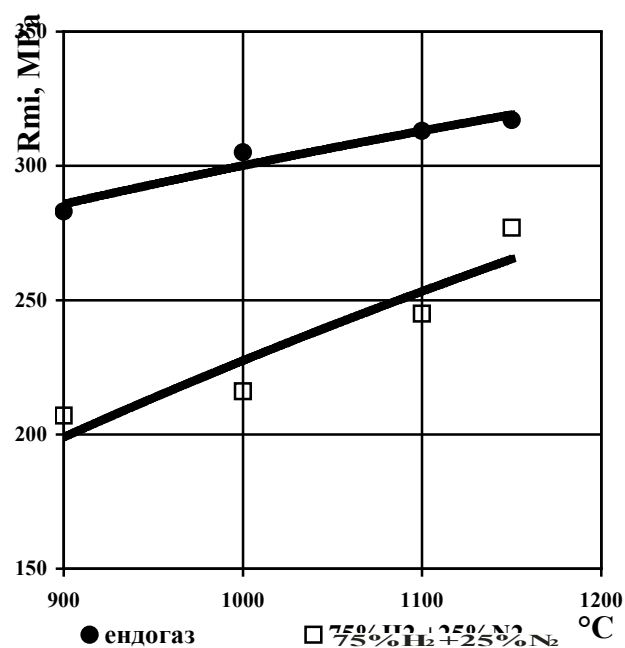
Графичните интерпретации на тези експериментални резултати са показани на фиг.6÷10.

Якостни характеристики Таблица №4

| № по ред | Т, °С | Защитна атмосфера |          |                                      |          |
|----------|-------|-------------------|----------|--------------------------------------|----------|
|          |       | ендогаз           |          | 75%Н <sub>2</sub> +25%N <sub>2</sub> |          |
|          |       | Rm, МРa           | Rmi, МРa | Rm, МРa                              | Rmi, МРa |
| 1        | 2     | 3                 | 4        | 5                                    | 6        |
| 1        | 900   | 376               | 283      | 297                                  | 207      |
| 2        | 1000  | 406               | 305      | 366                                  | 216      |
| 3        | 1100  | 433               | 313      | 383                                  | 245      |
| 4        | 1150  | 463               | 317      | 398                                  | 277      |



Фиг. 5. Промяна в линейните размери за образци след синтероване при 1150°C, в среди от ендогаз и дисоцииран амоняк

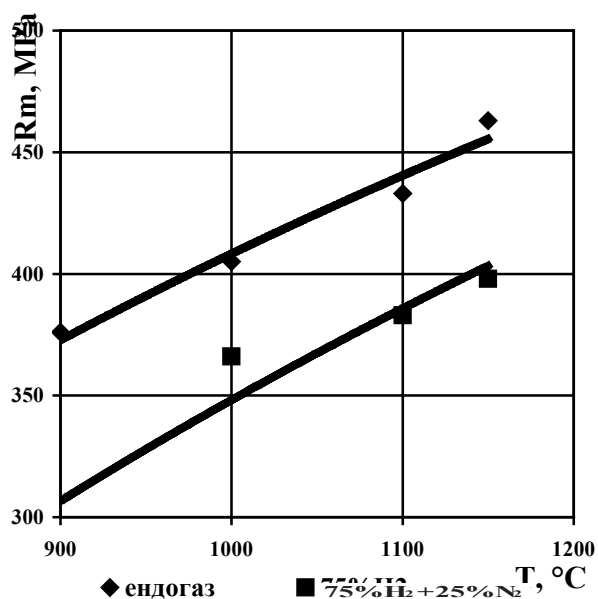


Фиг. 7. Якост на огъване за образци след синтероване 30min, в среди от ендогаз и дисоцииран амоняк

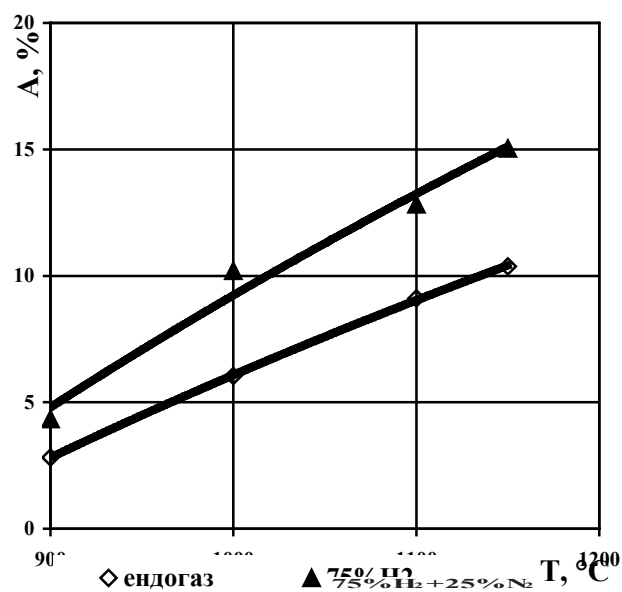
## Експериментални резултати

Таблица №5

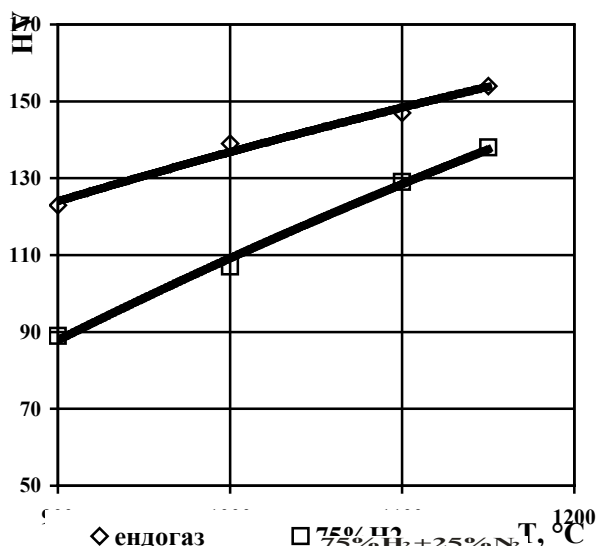
| № по ред | T, °C | Защитна атмосфера |     |       |                                         |     |       |
|----------|-------|-------------------|-----|-------|-----------------------------------------|-----|-------|
|          |       | ендогаз           |     |       | 75% H <sub>2</sub> + 25% N <sub>2</sub> |     |       |
|          |       | A, %              | HV  | Δl, % | A, %                                    | HV  | Δl, % |
| 1        | 2     | 3                 | 4   | 5     | 6                                       | 7   | 8     |
| 1        | 900   | 9,1               | 127 | -0,11 | 13,1                                    | 103 | -0,24 |
| 2        | 1000  | 11,3              | 143 | -0,18 | 14,8                                    | 119 | -0,28 |
| 3        | 1100  | 11,9              | 151 | -0,21 | 15,2                                    | 131 | -0,31 |
| 4        | 1150  | 12,2              | 157 | -0,22 | 17,3                                    | 137 | -0,33 |



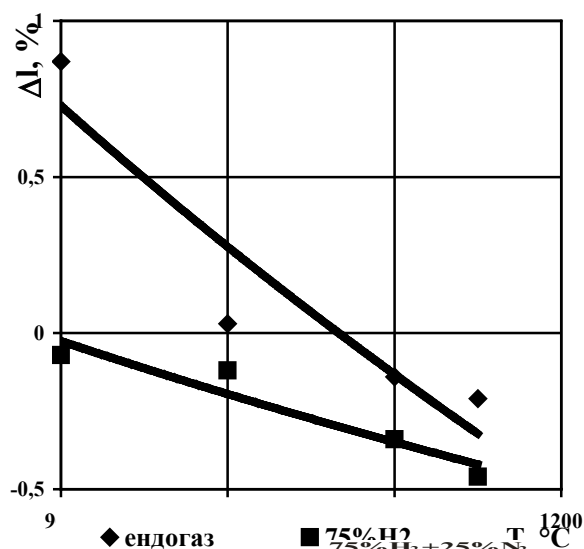
Фиг. 6. Якост на опън за образци след синтероване 30min, в среди от ендогаз и дисоцииран амоняк



Фиг. 8. Относително удължение за образци след синтероване 30min, в среди от ендогаз и дисоцииран амоняк



Фиг. 9. Твърдост по Викерс за образци след синтерование 30min, в среди от ендогаз и дисоцииран амоняк



Фиг. 10. Промяна в линейните размери за образци след синтерование 30min, в среди от ендогаз и дисоцииран амоняк

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

От проведените изследвания и получените при тях резултати могат да се формулират следните по-важни изводи:

✓ Доказано е, че с нарастване времето на синтерование при температура 1150°C механичните характеристики на образците се изменят, както следва.

✓ Якостта на опън за образци спечени в среда от ендогаз нараства в границите на

90MPa, а при тези спечени в среда от дисоцииран амоняк – 40MPa;

✓ Якостта на огъване се изменя в интервала 300÷400MPa, при синтерование в среда от ендогаз и 240÷320MPa, в среда от дисоцииран амоняк. Аналогично на якостта на опън по-високи са стойностите на образците спечени в защитна среда от ендогаз, като резултатите варират в границите 60÷80MPa.

✓ Стойностите за относителното удължение нарастват приблизително с 30%. За образци спечени в среда от ендогаз нарастването е приблизително с 3%, а за среда от дисоцииран амоняк – 4%. За разлика от предходните две характеристики при относителното удължение по-високите резултати се фиксират при синтерование в среда от дисоцииран амоняк.

✓ За образци спечени в среда от ендогаз твърдостта нараства с 25÷30HV и варира в границите 125÷150HV, а тези спечени в защитна атмосфера от дисоцииран амоняк имат по-малки стойности за твърдостта по Викерс, които варират в интервала 100÷130HV.

✓ Размерите на образците след спичане в атмосфера от дисоцииран амоняк намаляват с 0,09%, а тези спечени в среда от ендогаз с 0,11%.

✚ Доказано е, че с нарастване на температурата на синтерование в интервала 900÷1150°C, при продължителност на процеса 30min, механичните характеристики на детайлите се изменят, както следва:

✓ Якостта на опън нараства, като при образци спечени в среда от ендогаз това нарастване е от порядъка на 90MPa, а за тези спечени в среда от дисоцииран амоняк – 100MPa.

✓ Границата на пропорционалност се изменя в интервала на 280÷320MPa, при синтерование в среда от ендогаз и 210÷280MPa, в среда от дисоцииран амоняк.

✓ Относителното удължение нараства приблизително с 3÷3,5 пъти, като за образци спечени в среда от ендогаз нарастването е приблизително с 7,5%, а за среда от дисоцииран амоняк – 10,5%.

✓ За образци спечени в среда от ендогаз твърдостта нараства с 25÷30HV и варира в границите 125÷150HV. Образците спечени в защитна атмосфера от дисоцииран

амоняк имат по-малки стойности за твърдостта по Викерс, които варират в интервала 90÷130HV.

✓ Размерите на образците спичани в атмосфера от дисоцииран амоняк намаляват с 0,4%, а тези спечени в среда от ендогаз с 0,25%. Съпоставяйки резултатите от двете изследвани от нас среди се вижда, че при синтероване в среда от ендогаз, промените в размерите на заготовките са по-незначителни и варират около 0 - от +0, до -0,1 докато при синтероване в среда от дисоцииран амоняк се фиксира свиване от порядъка на 0,40%.

✚ За всички изследване механични характеристики /без относителното удължение/ по-високи стойности се регистрират след синтероване в следа от ендогаз. Това се обяснява с факта, че в сравнение с дисоции-

рания амоняк ендогаза притежава по-голямо количество възстановителни компоненти, които в процеса на синтероване разкъсват окисните слоеве на металните частици и способстват за подобряване плътността на образците.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Митев, И.Н. Прахова металургия – част I Получаване на праховометалургични материали и изделия, УИ "В.Априлов", Габрово, 2004.
- [2] Митев, И.Н. Прахова металургия – част II Праховометалургични изделия с конструкционно и инструментално предназначение, УИ "В.Априлов", Габрово, 2004.
- [3] Тодоров, Р.П. и др. Материали и съоръжения за прахово-металургични конструктивни изделия, „Издателство на БАН”, София, 1988.