

## ТЕНДЕНЦИИ В РАЗВИТИЕТО НА ЛЕГИРАНИ ЖЕЛЕЗНИ ПРАХОВЕ ЗА КОНСТРУКЦИОННИ ПМ ДЕТАЙЛИ

Диян М. Димитров, Десислава Минчева

**Abstract:** The paper presents the main advantages and disadvantages of the most widely used alloying elements in powder metallurgy. The new guidelines for the alloying of iron powders for structural PM details are presented. There were presented some new pre-alloyed and diffusion bonded powders of global manufacturing companies.

**Key words:** powder metallurgy, alloying elements, pre-alloyed and diffusion bonded powders

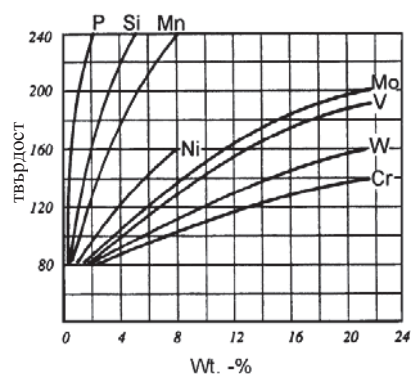
### 1. Въведение

Изработването на конструкционни ПМ детайли с високи механични свойства и сравнително ниска цена налага използването на подходящи легиращи железни прахове. Използването им дава възможност да се получат сплави с висока хомогенност на структурата, а от там и по-голяма еднородност на свойствата и точност на геометричните параметри на изделията. Важен фактор при подбор на вида, количеството и начина на въвеждане на легиращия елемент е неговото влияние върху пресуемостта и спекаемостта и не на последно място върху точността и размера на спечените изделия. В практиката на праховата металургия освен въглерод, като основни легиращи елементи се използват мед, никел и молибден. Известно е, че те имат слаб афинитет към кислорода, което обуславя добрата им спекаемост. Освен това в подходяща комбинация с въглерод осигуряват висока якост на детайлите, повишат закаляемостта им и осигуряват добра размерна стабилност на изделията след спичане. [1,2]

Медта (Cu), която не намира особено приложение в черната металургия, е един от важните легиращи елементи в праховата металургия. Основните предимства на медта са свързани с лесната редукция на медните окиси в процеса на спичане и образуването на течна фаза под температурата на спичане, което активира спичащия процес. Като

легиращ елемент Cu се добавя в механични смеси и при получаване на предварително дифузионно легиращи железни прахове. Молибдена (Mo) е карбидообразуващ елемент и подобрява закаляемостта на синтерованите изделия. Води до образуване на бейнитни структури в процеса на спичане. Никелът (Ni) повишава якостта и пластичността на сплавите, но в сравнение с Mo осигурява по-ниска закаляемост на спечените сплави. Освен това Ni има способността да уякчава феритната фаза.

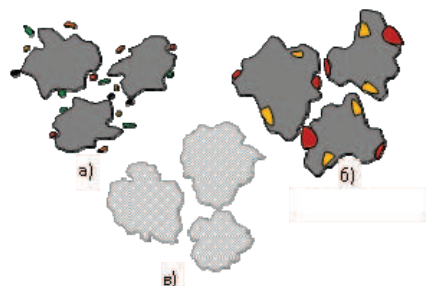
Основните недостатъци на тези традиционно използвани елементи са високата цена на Mo, канцерогенното действие на Ni (въвежда се под формата на фин прах) и трудното рециклиране на Cu.



Фиг. 1. Влияние на някои легиращи елементи върху твърдостта на желязото

Физико-механични свойства на спечените материали зависят от начина на въвеждане на легиращите елементи в базовите железни прахове (фиг.2). Известни са няколко начина на въвеждане чрез:

- 1) механично смесване на легиращите елементи с базовия прах – получаване на механични смеси;
- 2) дифузионно свързване на легиращите частици с базовия прах – получаване на дифузионно легиран железни прахове;
- 3) комплексно легиране на праховете, които основно се получават чрез водно разпрашаване на метални стопилки (комплексно легиран прахове).



Фиг. 2 Схематично изображение на различни начини на легиране: а-механична смес; б-дифузионно легиран прах; в-комплексно легиран прах

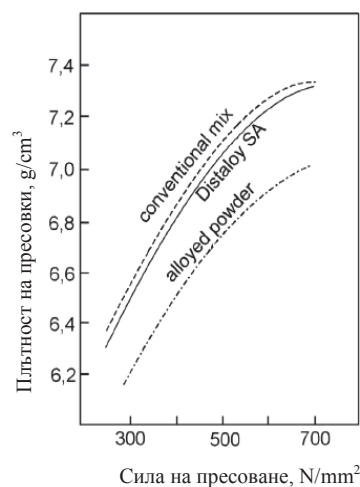
Развитието на спичащите технологии, даде възможност да се въведе и употребата на легиращи елементи като хром (Cr) и манган (Mn), които в началото са били избягвани заради високия си афинитет към кислорода. Хромът, подобно на Мо е карбидообразуващ елемент и въвеждането му в железните прахове, води до повишаване на закаляемостта. Мангана също оказва влияние върху якостните характеристики и закаляемостта на синтерованите изделия, но все още намира ограничено приложение в праховата металургия. Сравнително ниската цена, която имат ги прави още по-атрактивни при производство на нисколегиран железни прахове.

## 2. Основни видове легиран железни прахове

В съвременната практика за изработване на средно и високо натоварени ПМ компоненти се използват основно дифузионно легиран и легиран прахове.

Най-голямо приложение намират дифузионно легираните прахове – тип „Дисталой” и комплексно легираните тип „Асталоу”. Тези прахове са запазена

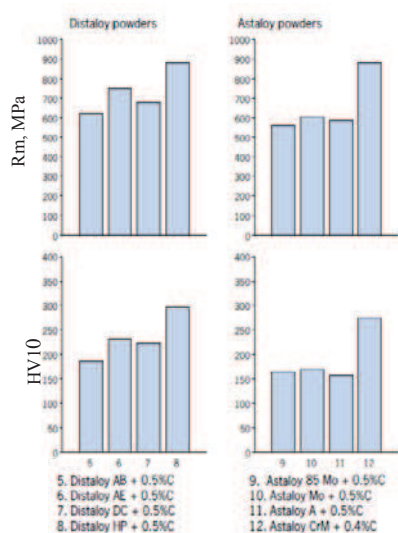
търговска марка на шведската фирма „Hoganas”.



Фиг.3 Влияние на силата на пресоване върху плътността на пресовки [7]

Комплексно легираните железни прахове тип “Astaloy” представляват нисколегиран железни прахове, получени по метода на водно разпрашаване на метална стопилка. Основни марки които предлага фирмата “Hoganas” са марките AstaloyMo, Astaloy85Mo съдържащи Мо и марките AstaloyCrA и AstaloyCrM, със съдържание на Cr съответно 1,5 и 3%. Тези прахове са предназначени за изработване на изделия, подлагани на допълнително термично обработване, както и за получаване на детайли по метода на горещо коване (фиг.4).

Подобни прахове произвежда и американската фирма “Hoeganaes Corporation”. Тя залага на производството на водноразпрашени железни прахове обединени под марката “Ancorsteel”. Основно произвежда широка гама от нисколегиран с молибден железни прахове (Ancorsteel30HP, Ancorstell50HP, Ancorstell85P, Ancorsteel150HP) като съдържанието на Мо в тези прахове варира от 0,35 до 1,5%. Те притежават много добра пресуемост. От праховете съдържащи Cr най-широко приложение намира марката Ancorsteel4300, като съдържанието на Cr е ограничено до 1%.



Фиг.4 Сравнителни данни относно някои механични характеристики на ПМ изделия, изработени от прахове „Дисталой” и „Асталоу” [7]

Освен този елемент в химичния състав присъстват 1%Ni, 0,8%Mo и 0,6% Si. Според фирмата производител изделията изработени от тази марка нисколегиран прах имат много висока якост, ударна жилавост и твърдост, като оптимални резултати се постигат в условията на високотемпературно спичане на изделията.

Праховете “Distaloy” спадат към дифузионно легираните железни прахове. Това са отдавна наложили се в индустрията прахове, поради факта, че комбинацията от легиращи елементи Cu (1,5%), Mo(0,5%) и Ni(1,75 и 4%) осигурява стабилност на размерите на детайлите след спичане, както и след допълнително термично обработване. Предназначени са за изработване на конструкционни детайли с повишени механични характеристики (фиг.4)

Аналог на тези прахове произвеждат и други фирми производителки. Американската “Hoeganaes Corporation” налага на пазара своите марки Distaloy4600A и Distaloy4800A, които по химичен състав са идентични с шведските Дисталой.

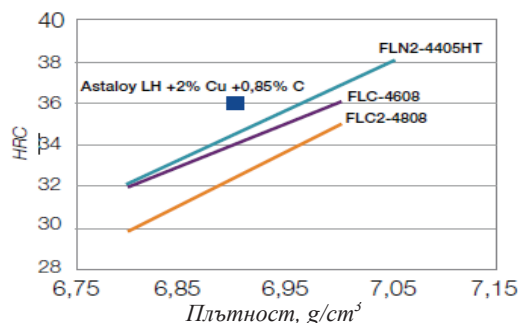
## 2. Тенденции в развитието на легираните железни прахове

Поради непрекъснатите промени в цените на легиращите елементи съвременната тенденция е за разработване на прахове с

минимално количество легиращи елементи, като окончателните свойства се формират след термично обработване. Наред с традиционно използваните технологии за термично обработване, фирмите разработват и технологията за т.нар уякчаващо спичане. Това е алтернативна технология, при която синтерованите ПМ изделия получават закалена мартензитна структура без използване на традиционните методи на закаляване. Стандартния процес на уякчаващо спичане съчетава в един термичен цикъл, спичане и закаляване при подходяща скорост на охлаждане във въздушната среда на пещта. За изпълнение на този процес е необходимо пещно съоразение, което може да осигури скорост на охлаждане над 1°C/s в интервала 860-400°C.

Праховете предназначени за уякчаващо спичане основно съдържат комбинация от легиращите елементи Ni, Cu, Mo и Mn.

През 2009 г. фирмата Hognas предлага на пазара марките AstaloyLH с химичен състав Ni(0,9%), Mo(0,9%) Mn(0,2%) и DistaloyLH Ni(0,9%), Mo(0,9%), Mn(0,2%) и Cu (2%). Изследванията показват, че изделията изработени от тези прахове имат много добра закаляемост и след спичане твърдостта им достига до 30-40HRC (фиг.5). Освен това се посочва, че при скорост на охлаждане над 1°C/s. се постигат много добри резултати относно закаляемостта на ПМ изделия.

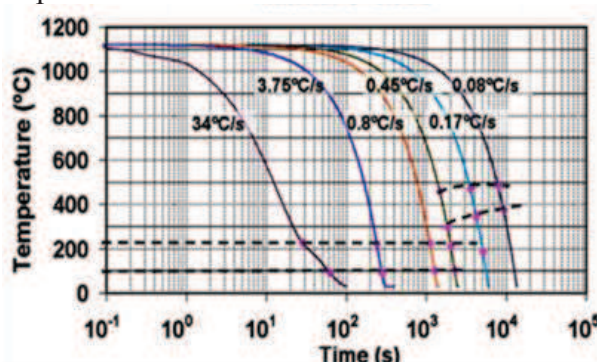


Фиг.5 Свойства на ПМ изделия изработени от легирани прахове[7]

В съответствие с новите изисквания към легираните прахове за занижена концентрация на легиращите елементи, през 2010 г. „Pometon Powder” разработва водно разпраснени нисколегиран хром съдържащи прахове.

В каталозите на фирмата праховете са представени под наименованието ECOSint (1,4%Cr) и ECOSintHighCr (2,0%Cr). Съдържанието на Ni и Cu ограничено до 1%, а концентрациите на Mo и Mn са съответно 0,8% и 0,2%. [9].

Според предварителните изследвания, комбинацията от легиращи (Cr, Mo, Mn, Ni, Cu) елементи води до значително намаляване на критичната скорост на охлаждане. Според източник [15] след спичане при температура 1120°C и охлаждане с 0,45°C/s, микроструктурата на изследваните образци е мартензитна.



Фиг. 6. Термокинетична диаграма на легиран железен прах Ecosint (1,4%Cr)

#### Изводи:

- Разработването на легирани железни прахове е свързано с изискванията за създаване на екологични и природосъобразни прахове;
- Върви се към употребата на занижени концентрации на химичните елементи като тенденцията е свързана с намаляване концентрацията на Ni;
- Създават се прахове с нови комбинации от легиращи елементи, които да удовлетворяват изискванията за високи механични свойства на детайлите и същевременно да имат ниска цена;
- Същевременно се търсят алтернативи, чрез създаването на нисколегиран прахове с нова комбинация от легиращи елементи да се подобри процеса на т.нар. уякчаващо спичане и по този начин да се избегне допълнително термично обработване.

#### Литература:

- [1] Michael L. Marucci, George Fillari, Patrick King, K. S. Narasimhan, A REVIEW OF CURRENT SINTER-HARDENING TECHNOLOGY, PM2004 World Congress, Vienna, Austria
- [2] L.A. Dobrzański, M. Muszyfaga, Effect of cooling rates on sinter-hardened steels, Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, Volume 37 Issue 2 December 2009
- [3] G.H. Rutz, H.A. Graham, B.A. Davala, Sinter-hardening P/M. steels, Advances in Powder Metallurgy and Particulate Materials 1 (1997) 8-3-8-20.
- [4] K.S. Narasimhan, Sintering of powder mixtures and the growth of ferrous powder metallurgy, Materials Chemistry and Physics, 67 (2001) 56-65
- [5] A. Shalak, Ferrous powder metallurgy, Cambridge International Science Publishing, England 1995, 45-46.
- [6] M. Rosso, Contribution to study and development of PM stainless steels with improved properties, Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering 24/1 (2007) 178-187.
- [7] <http://hoganas.com/en/Segments/PM-Components/Our-products/Alloy-powders/Iron--low-alloyed-steel>
- [8] <http://www.gkn.com/hoeganaes>
- [9] <http://www.pometon.com>
- [10] Pometon powder, Ecosint Advanced alloyed powders for sintering technology
- [11] Francisco Castro, Angela Veiga, Frank Baumgaertner, Johannes Heyde, Stefano Saccarola, Sandra Bueno, Endogas sintering of a Cr-containing PM steel
- [12] S. Bueno, S. Saccarola, A. Karuppanagounder, A. Veiga, S. Sainz and F. Castro, Lean Cr-containing powders for obtaining high performance PM steel grades
- [13] S. Bueno, S. Saccarola, S. Sainz, A. Veiga, F. Castro, Comparison between Sinterhardened PM Steels obtained from, both, Diffusion Bonded and a Lean Cr-containing Powder
- [15] [www.ipmd.net](http://www.ipmd.net) International Powder Metallurgy Directory 2010-2011, 14th Edition

#### За контакти:

9010 Варна, ул. “Студентска” №1  
Технически университет - Варна

[dimitrov.diyana@gmail.com](mailto:dimitrov.diyana@gmail.com)

[mincheva\\_d@abv.bg](mailto:mincheva_d@abv.bg)