Kolozsvár, 1998. március 20-21.

A szinterelt Fe mechanikai tulajdonságai

Zsók János Csaba

1. Összefoglaló (Summary)

The projected metal parts should be secure in order to endure the bearing force without damage. Sintering is the most frequently used technology from modern technologies, that frequently applies iron and iron alloyed materials. The aim of this paper is to study the mechanical properties of sintered iron (tensile strenght, yield strenght, fracture elongation, Young's modulus, impact energy, fatigue strenght) plotted against porosity and to draw the conclusion from this studying.

2. Bevezető

A tervező által megtervezett konstrukció (alak , méret , felület) és előirt tulajdonságaik akkor valósulnak meg maradéktalanul, ha a termék előállítása során figyelembe vesszük a konstrukció - anyag - technológia hármass kölcsönös egymásra hatását és utaltságát. A műszaki elképzelések megvalósítása megfelelő tulajdonságú anyagok és jól megtervezett technológiák nélkül elképzelhetetlen.

A porkohászat (szinterelés) korszerű tömeggyártási technológia amely többek között a Fe illetve a Fe-vel ötvözött anyagok megmunkálásának egyik progressziven fejlődő ága.

A szinterelt vas mikrostrukturája és a mechanikai tulajdonságok közötti összefüggést széles körben tanulmányozták. Nem lehetséges ezek részletes bemutatása, ezért próbáljuk egy kísérlettel igazolni és összefoglalni az eddigi tulajdonságokat.

A kísérlet anyaga egy 0,01 % C és 0,07 % O tartalmú atomizált, 50 - 150 μm szemcséjű Fe-por, amely jó minőségű, minden gyár számára , könnyen bármilyen mennyiségben elérhető. Paraméterek: kompaktizáló préseles 150 - 1200 M Pa, szinterelési hőmérséklet: 1120 és 1250 $^{\circ}\text{C}$, szinterelési idő: 0,5 l, 2, 4, 8 óra. Védőatmoszféra : Hidrogén.

3. Nyitott és zárt porozitás

Ha a porozusos testet egy mikróüregek és anyag keverékének tekintjük , akkor a porozitás tulajdonképpen egyenlő a mikróüregek összeségének térfogata és az összporozusos test térfogata közötti aránnyal.

A nyitott porozitás (interconnected porosity , open porosity : p_o) esetében a mikróüregek kommunikálnak a test felületével , ily módon folyadék és gázszűrő hatás érhető el, feltételezve hogy a mikróüregek közötti csatornák mindig nyitottak a szűrendő folyadék számára. A zárt porozitás (isolated porosity, closed porosity : p_c) esetében ez nem szükséges, az anyag belsejében zárt lyukszigetek vannak, amelyek kívülről nem érhetőek el , szűrő illetve funkcionális hatás nincs.

A totális porozitás:

$$p = p_o + p_c \quad (1)$$

Mint az 1. ábrán látható a nyitott (p_o) illetve a zárt porozitás (p_c) közötti arány a szinterelési sűrűségtől függ. Látható hogy a szinterelési sűrűség $\rho \geq 7,2 \text{ Mg/m}^3$ egy adott értékére $p \leq 7-8 \%$, $p_o=0 \rightarrow p = p_c$, tehát megszűnik a mikróüregek egymás közti kommunikációja és fellép a teljesen zárt porozitás , hogy ha $\rho < 6,4 \text{ Mg/m}^3$, $p > 20-22 \%$, $p_c = 0 \rightarrow p = p_o$ az összes üregek nyitottak , a nagy porozitású szinterelt anyagok jellemzője.

A mikróüregek formája is egy olyan paraméter amely befolyásolja a mechanikai tulajdonságokat. Elsősorban a szinterelési hőmérséklettől és időtől függ. Hosszú szinterelési folyamat és magas hőmérséklet progresszíven az üregek lekerekítéséhez vezet a felületi diffúciónak köszönhetően.

Megállapítható, hogy:

$$k = (8/3) \pi^2 (L_p/L) \quad (2)$$

ahol: L_p - az üreg kerületének hossza , L - ugyanolyan értéke van a hosszanti formájú mint a gömb formájú üregeknél , mégis az anyagok összehasonlítása különböző L értékekre akkor lehetséges ha a sűrűségük állandó.

Gyakran használjuk a "direkt formai tényező "-t amely az üreg felületének területe és az üreg térfogata közötti aránnyal egyenlő. E tényező kiszámítása metallografikus mikroszkóp segítségével történik.

1. ábra. A nyitott és zárt porozitás a sűrűség függvényében

4.A szakító szilárdság és a szakadó nyulás

A szakító szilárdság (R_m) és a folyási határ (R_p) változását több egyenlettel lehet igazolni, mint ahogy az 1. táblázatban összegeztük

Az 1. táblázat és a 2. ábra szerint megállapítható hogy a szakítási szilárdság elsősorban a totális porozitás és másodsorban a kompaktizáló nyomás befolyásolja. Tehát minél nagyobb a kompaktizáló nyomás, annál kisebb a totális porozitás, és minél nagyobb a szinterelési hőmérséklet (1120→1250 °C) , annál nagyobb a szakító szilárdság. Ugyanez nem mondható el a szinterelési folyamat idejéről, ugyanis a

kísérlet egy bizonyos hőmérsékleten belül (1120 °C vagy 1250 °C) a szakító szilárdság különböző változó értékeket ad. Ugyanez megállapítható szintén az 2. ábrán a folyási határra (R_p) is.

1. Táblázat

Szakító szilárdság	Empirikus egyenlet	Az egyenlet jellemzői
Salak szerint	$R_m = R_{m0} \cdot e^{-k \cdot p}$	Fe esetében: $R_{m0}=344$, $k=0,043$, p - totális porozitás
Eudier szerint	$R_m=R_{m0} (1-1,21 p^{2/3})$	R_{m0} - a tömör vas szakító szilárdsága
Siegel és Hermel sz.	$R_m=R_{m0} \cdot e^{-m \cdot (f / A_c (1-p_0))}$	f - formai tényező, A_c - a szemcsék relatív érintkezés terül.
Ledoux és Prioul sz.	$R_m=R_{m0} (1-3,5p_0) (1-1,2p_c^{2/3})$	p_0 -nyitott porozitás, p_c -zárt porozitás

Mint a 3. ábrán látható a szakadó nyulás függ a totális porozitástól. Összehasonlítva az 1250 °C-on és 4 órán át szinterelt terméket az 1120 °C-on és 0,5 órán át szinterelt termékkel, lényeges különbség állapítható meg. Nagyon elütő értékeket kapunk az alacsony porozitású részekben. Megállapítható hogy a kétszeresen kompaktizált és szinterelt termékek szakadó nyulása 6 %-al nagyobb mint az egyszer kompaktizált és szinterelt termékek esetében.

2. ábra. A szakító szilárdság változása a totális porozitás függvényében

3. ábra. A szakadó nyulás változása a totális porozitás függvényében

4. ábra A Young modulusz változása a totális porozitás függvényében

5. A Young modulusz

A Young modulusz kiszámítása többféleképpen lehetséges, mint ahogy a 2. táblázatban összegeztük:

2. Táblázat

Young modulusz	Empirikus egyenlet	Az egyenlet jellemzői
McAdam szerint	$E=E_0 (1-p)^{3/4}$	E_0 - a tömör vas Young modulusza, p - totális porozitás
Siegel és Hermel szerint	$E=E_0 (1-p) A_c$	A_c - a szemcsék relatív érintkezési területe
Haskin és Shtrikman .	$E=E_0 ((1-p)/(1+f \cdot p))$	f - formai tényező
Chogule és Tendolkar	$E=E_0 (1-k_1 p_0 - k_2 p_c)$	k_1, k_2 - kompaktizáló nyomás tényezők

Mint a 4. ábrán látható, hogy a totális porozitás növekedésével a Young modulusz csökken, $p < 3\%$ értékére a kísérlet nem ad evidens eredményeket.

6.A lökészerű energia és a kifáradási tulajdonságok

Mint az 5. ábra látható a $p > 11\%$ porozitású termékekre a szinterelési paraméterek (idő, hőmérséklet) befolyása nagyon alacsony, majdnem független a mikróüregek sokaságától. A $p < 11\%$ termékek esetében minél nagyobb a szinterelési hőmérséklet és idő, annal nagyobb a lökészerű energia értéke.

5. ábra. A lökészerű energia változása a totális porozitás függvényében

6. ábra. A kifáradási szilárdság változása a totális porozitás függvényében

A sztatikus és dinamikus kifáradás a szinterelt termékek esetében a törés előtt fellépő mikrorepedéseknek tulajdonítható. A repedések a kristályhálóban fellépő diszlokációk miatt keletkeznek. A repedés a szemcsék között progresszíven terjed kikerülve a szintereléssel formált szemcséket. Mint a 6. ábrán látható a kifáradási szilárdság befolyásolhatósága a totális porozitástól és a szinterelési paraméterektől összehasonlítható a szakító szilárdsággal (2. ábra) és a Young moduluszal (4. ábra), tehát az értéke nő, ha csökken a totális porozitás. A szinterelési idő és hőmérséklet hatása nehezen állapítható meg.

7. Szakirodalom

1. H. Danninger, G. Jangg, B. Weiss, R. Stickler : Microstructure and Mechanical Properties of Sintered Iron. Powder Metallurgy International, 1993, 25 kötet/3,4 szám
2. R. Haynes: Mechanical properties of sintered metals, Freund Publishers, London, Great Britain, 1981
3. A. Salak, V. Miskovic, E. Dudrova, E. Rudnayova: The Dependence of Mechanical Properties of Sintered Iron Compacts upon Porosity . Powder Metallurgy International, 1974, 6. szám

Zsók János Csaba, okleveles gépészmérnök, doktorandusz (Kolozsvári Műszaki Egyetem)

Munkahelyi cím: SC FEROFUN SRL, Satu Mare, str. Zorilor, nr. 12, 3900, Jud. Satu Mare

Tel/Fax: 061-736347

Otthoni cím: Satu Mare, str. Petru Maior, nr. 18, 3900, Jud. Satu Mare