FIATAL MŰSZAKIAK TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAKA XIX.

Kolozsvár, 2014. március 20–21.

GÖMBGRAFITOS ÖNTÖTTVAS HŐKEZELHETŐSÉGE

HEAT TREATABILITY OF DUCTILE IRON

BAGYINSZKI Gyula⁽¹⁾, BITAY Enikő⁽²⁾

(1) Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Magyarország, 1081 Budapest, Népszínház u. 8, bagyinszki.gyula@bgk.uni-obuda.hu

(2) Sapiientia – Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Műszaki és Humántudományok Kar, Románia, 540485 Marosvásárhely (Koronka), Segesvári út 1.C., ebitay@ms.sapiientia.ro

Abstract

Known since the late 1940s, the spheroidal graphite cast iron became one of the most preferred molding material due to its favorable casting, machining and mechanical properties. The last two are able to be increased by applying of heat treatment. A significant application of spheroidal graphite cast iron is present in the frame of the automotive industry. Here the optimal combination of strength, toughness and wear resistance values is achievable only if applying the corresponding heat treatment. The present paper describes the conclusions based on the experiments realized by the authors in this field of research.

Keywords: material properties, volumetric heat treatments, surface heat treatments

Összefoglalás

Az 1940-es évek végétől ismert gömbgrafitos öntöttvasat kedvező önthetőségi, megmunkálási és mechanikai tulajdonságai teszik optimális öntvényanyaggá. Ez utóbbi jellemzők hőkezeléssel is befolyásolhatók. Nagy jelentőséggel bír a gömbgrafitos öntöttvas az autóiipari részegységek alkatrészeinek gyártásánál, ahol a szilárdság, a szívósság és a kopással szembeni ellenállás megfelelő összhangja térfogati és felületi hőkezeléssel érhető el. Jelen cikk ilyen irányú kutatási tapasztalatainkat foglalja össze.

Kulcsszavak: anyagjellemzők, térfogati hőkezelések, felületi hőkezelések.

Bevezetés

A gömbgrafitos öntöttvasban (gömbgrafitos vasöntvényben) a grafit gömbös (globulitos) alakja az öntés előtti kis mennyiségű Mg-adagolás („beoltás”) következménye. Ilyen módon már melegen alakítható, lemezgrafitosnál jobb szilárdsági és szívóssági jellemzőkkel bíró szerkezeti anyag adódik.

1. Anyagjellemzők

A gömbgrafitos öntöttvasak jellemző példája az ASTM A536, Grade 80-55-06 vagy a DIN GGG-60, amelynek főbb szabványos összetevői: C = 3,50–3,90%; Si = 2,00–2,75%; Mn = 0,15–0,35%; Mg = 0,02–0,07%; S = 0,010–0,025%; P = max. 0,05%.

A főbb mechanikai tulajdonságainak intervalluma: rugalmassági modulus: $E = 170\text{--}180$ GPa; csúsztató rugalmassági modulus: $G = 65\text{--}70$ GPa; Poisson-tényező: $\nu = 0,27\text{--}0,28$; egyezményes folyáshatár: $R_{p0,2} = 350\text{--}380$ MPa; szakítószilárdság: $R_m = 500\text{--}700$ MPa;

szakadási nyúlás: $A_5 = 2\text{--}5\%$; Brinell-keménység: $HBS = 190\text{--}270$; nyomószilárdság: $R_{ny} = 380\text{--}420\text{ MPa}$; kifáradási határ(feszültség): $\sigma_k = 240\text{--}290\text{ MPa}$; törési szívósság: $K_{Ic} = 20\text{--}50\text{ MPa}\cdot\sqrt{\text{m}}$. Fontosabb fizikai tulajdonságainak intervalluma: sűrűség: $7120\text{--}7250\text{ kg/m}^3$; olvadáspont: $1130\text{--}1250\text{ }^\circ\text{C}$; maximális alkalmazási hőmérséklet: $350\text{--}450\text{ }^\circ\text{C}$; hőtágulási együttható: $(10\text{--}12,5)\cdot 10^{-6}\text{ }1/^\circ\text{C}$; hővezetési tényező: $31\text{--}36\text{ W/(m}\cdot\text{K)}$; fajhő: $460\text{--}495\text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$; fajlagos elektromos ellenállás: $(0,5\text{--}6,0)\cdot 10^{-7}\text{ }\Omega\cdot\text{m}$.

2. Térfogati hőkezelések

A gömbgrafitos öntöttvasak szerkezetét és azon keresztül a tulajdonságaikat megváltoztató hőkezelés első szakasza felhevítés $850\text{--}950\text{ }^\circ\text{C}$ hőmérsékletre és ott hőntartás körülbelül 1 óráig, plusz minden 25 mm vastagságegységre számítva további 1 óráig, a megfelelő **homogenizálás** érdekében. Ha karbidok is jelen vannak a mikroszerkezetben, a hőntartási hőmérsékletnek kb. $900\text{--}950\text{ }^\circ\text{C}$ -nak kell lennie, hogy a karbidbomlás kielégítő legyen a hőkezelés következő szakaszai szempontjából. Az időtartamot 6-8 órára indokolt növelni, ha karbidstabilizáló elemek vannak jelen. Bonyolult alakú öntvények esetében feszültségek keletkezhetnek a nem egyenletes melegedés következtében, így a hevítés $600\text{ }^\circ\text{C}$ -ig terjedő kezdeti szakaszának lassúnak kell lennie, vagyis óránként $50\text{--}100\text{ }^\circ\text{C}$. A felszíni revésedés és dekarbonizáció megelőzése érdekében ajánlott szabályozott atmoszférájú, nem oxidáló kemencétér alkalmazása. Továbbá meg kell akadályozni az esetleges torzulásokat, vetemedéseket, amit akár az önsúly vagy más darabok ráhelyezése is okozhat.

2.1. Feszültségcsökkentés

Célja, hogy a maradó feszültséget leépítse, anélkül hogy bármilyen, az anyagszerkezetben vagy az anyagtulajdonságokban bekövetkező változást okozna. Az öntvény általában $50\text{ }^\circ\text{C}/\text{óra}$ sebességgel hevítendő $200\text{ és }600\text{ }^\circ\text{C}$ közötti intervallumba, és a $600\text{ }^\circ\text{C}$ -os hőntartás időtartama minden 25 mm vastagság-egységre 1 óra. Erre még plusz további 1 óra számítandó, majd kemencehűtés alkalmazható $50\text{ }^\circ\text{C}/\text{óra}$ sebességgel $200\text{ }^\circ\text{C}$ -ig, azután már levegőn lehet hűteni szobahőmérsékletre. Nagyon fontos, hogy a hevítési és a hűtési sebességek elég kicsik legyenek, elkerülve a hősokkot és újabb feszültségek keletkezését (az öntvényben kialakulható nagy hőmérséklet-gradiens következtében).

2.2. Lágyítás

Elsődleges célja ferrites mikroszerkezet létrehozása és a perlit, ill. a karbidok elbontása, miáltal maximális képlékenység és szívósság érhető el. A lágyítás alkalmas 15%-os vagy annál nagyobb szakadási nyúlásértékek elérésére. A kezelésnek többféle formája lehetséges:

- **Megszakított hűtésű hőkezelés:** Az első szakasz az előzőekben leírt homogenizálás, majd ezt követi a $680\text{--}700\text{ }^\circ\text{C}$ -ra való lehűtés, ahol 4-12 óra a hőntartás ferritképződés céljából. Nagyobb tisztaságú öntöttvas esetében rövidebb idő is elegendő. Egyszerűbb alakú öntvényeket $650\text{ }^\circ\text{C}$ alá lehet hűteni kemencében, majd levegőn. Bonyolultabb alakú öntvényeket a kialakulható maradó feszültségek miatt, illetve a feszültségek csökkentése végett kemencében ajánlott hűteni.
- **Szabályozott sebességű (lassú) hűtéssel megvalósuló hőkezelés:** A homogenizálást a $30\text{--}60\text{ }^\circ\text{C}/\text{óra}$ sebességű hűtés követi a $800\text{--}650\text{ }^\circ\text{C}$ -os hőmérséklettartományon keresztül. Kisebb tisztaságú öntöttvasak lassabb hűtési sebességet igényelnek. A szobahőmérsékletre való hűtés úgy történhet, mint a megszakított eljárásnál.
- **Egylépcsős hőkezelés:** Az öntvény szobahőmérsékletéről $680\text{--}700\text{ }^\circ\text{C}$ -ra hevítendő anélkül, hogy ausztenitesítéssel kezdődő kezelés valósulna meg, majd ezen a hőmérsékleten kell tartani 2-16 óráig a perlit grafitosítása végett. Az időtartam növekszik a fémtisztaság csökkenésével, és általában hosszabb, mint más eljárásoknál, az előzetes homogenizálás

hiánya miatt. Szobahőmérsékletre való hűtést a megszakított eljárás szerint lehet végezni. Ez a kezelés a perlit csökkentésére csak azoknál az öntöttvasaknál alkalmazható, melyekben nincs eutektikus karbid. Ha az öntöttvas karbidokat tartalmaz, akkor megszakított vagy szabályozott hűtésű kezelést kell alkalmazni.

2.3. Normalizálás

A kezelés első szakasza a homogenizálás, majd ezután a kemencéből kivéve levegőn hűthető szobahőmérsékletre az öntvény. A léghűtés sebességének a 780-650 °C-os hőmérséklet-tartományon keresztül elég gyorsnak kell lennie, hogy teljesen perlites mátrixot eredményezzen az öntvény keresztmetszetében. Ez elérhető intenzívebb légfúvással, különösen vastagabb szelvények esetében. Mindenesetre az öntvényeket célszerű egyedileg függesztve hűteni, mozgatni vagy egy rácsra helyezve rázogatni.

A teljesen perlites szerkezet eléréséhez a vasmátrixot karbonban telíteni kell az ausztenitesítés hőmérsékletén, a léghűtés előtt; ami leggyorsabban úgy valósítható meg, ha a vas öntött állapotban teljesen perlites. Ha a vas öntött állapotban tartalmaz ferritet, akkor hosszabb időre van szükség az adott hőmérsékleten, vagy ugyanaz az időtartam egy magasabb hőmérsékleten tudja biztosítani a karbon megfelelő oldódását a grafitgömbökből. A hűtési sebesség növekedésével a perlit finomabbá fog válni, a szilárdság és a keménység növekedni fog, de a nyúlás csökkenhet. Az ausztenitesítési hőmérséklet növelésével – a mátrix magasabb karbontartalma miatt – a szilárdság növekszik és a nyúlás csökken.

2.4. Edzés és megeresztés

A nagy szilárdságú gömbgrafitos öntöttvasak 875-925 °C-ra hevítve, ezen a hőmérsékleten 2-4 óráig (vagy ennél hosszabb ideig a karbidoldódás végett) hőntartva, majd olajfürdőben hűtve érhető el, martenzites mátrixú mikroszerkezet kialakítása révén. Ezt követően 400-600 °C-os megeresztés következik. A hűtés során ügyelni kell a bonyolult alakú öntvények esetében a repedések elkerülésére. Ez megelőzhető meleg (például 100 °C-os) olajba merítéssel, a szobahőmérsékletre történő teljes lehűtést megelőzően. **Martemperálást** szintén lehet alkalmazni, hozzávetőleg 200 °C-os forró olajba merítéssel, de ezt követnie kell a szobahőmérsékletre történő hűtésnek – leginkább hideg vízfürdőben – a kívánt szerkezet és tulajdonságok elérése végett.

A hűtés során végbemenő sikeres edződéshez teljesen martenzites szerkezetet kell elérni, de ez csak vékony szelvényben lehetséges, ezért szükséges az átedzhetőséget javító elemekkel való ötvöztetés. Nikkel, mangán és molibdén javítja az átedzhetőséget, növekvő hatékonysági sorrendben. Bár a szilícium acélokban javítja az átedzhetőséget, gömbgrafitos öntöttvasakban ellentétes hatást vált ki a csökkenő karbonoldhatóság révén, azaz növekvő karbontartalommal kissé csökken az átedzhetőség, mivel az összgrafit jobban növekedik, mint ahogyan a karbon oldódik.

2.5. Ausztemperálás

Ha a gömbgrafitos öntöttvasat ausztenitesítés után sófürdőben vagy edzőolajban hűtik 320-550 °C hőmérsékletre és azon tartják, az átalakulás során képződő mikroszerkezet főként bénitet tartalmaz, kis mennyiségű maradék ausztenittel. Az ausztemperálás csak akkor sikeres, ha a hűtés során sikerül elkerülni perlit képződését. A tulajdonságok alapvetően az ausztemperálás hőmérsékletétől és idejétől függenek:

1. Hevítés 875-925 °C-ra, hőntartás 2-4 óráig, hűtés 400-450 °C-os sófürdőben, ezen a hőfokon tartás 1-6 óráig, majd szobahőmérsékletre lehűtés. Eredménye: viszonylag nagy képlékenység, nagy szilárdság, közepes keménység, de jó kopásállóság.
2. Az előzővel megegyezik, kivéve azt, hogy a második hőntartás 1-6 óráig 235-350 °C-on zajlik. Eredménye: igen nagy szilárdság, kiemelkedő keménység, kis képlékenység.

3. Felületi hőkezelések

Az **indukciós edzést** olyan alkatrészeknél alkalmazzák, ahol lokálisan kopásállóságot kell javítani. A különleges kialakítású induktor az öntvény felülete felett elhaladva 850-950 °C-ra növeli a felszín hőmérsékletét, körülbelül 1-3 mm mélységben. Az induktort egy vízűtő egység követi, miáltal martenzites réteg képződik 600-700 HV keménységgel. A létrejöhethő max. keménység függ a mátrix azon szénttartalmától, ami oldódik az ausztenitben a hevítés során, és a gyors hűtés folyamán jelen van a martenzitben. A rendelkezésre álló idő általában nem teszi lehetővé a megfelelő karbonoldódást a kiinduló ferrites mátrixú szerkezetben, ezért fontos teljesen perlitess öntöttvas minőségeket alkalmazni indukciós edzésre.

A **nitridálás** mint termokémiai kezelés – a felületbe juttatott nitrogén diffúziójával jár – kb. 550-600 °C hőmérsékleten. Legelterjedtebb nitrogénforrás az ammónia, és az eljárás 0,1 mm vastagságú felszíni réteget képez megközelítőleg 1100 HV felületi keménységgel. Ötvöző elemeket arra alkalmaznak, hogy az elérhető keménységet növeljék, ehhez 0,5-1% alumínium, nikkel és molibdén hasznosnak bizonyul. A nitridálással létrehozott kérgék igen nagy keménységet, fokozott kopásállóságot és antiadhéziós tulajdonságokat, javított fáradással szembeni ellenállást és növelt korrózióállóságot mutatnak.

Felületi átolvasztás koncentrált hőforrásokkal, így elektronsugárral vagy lézersugárral végezhető, és lehetővé válik nagyon kicsi olvadátköna létrehozása a gömbgrafitos öntvény felületén. Ez a zóna azután gyorsan újradermes az öntvény hidegen maradt tömegének önhűtő hatása következtében („kéregöntvény”). Az átolvasztott és újradermesdt zónának a fehéröntvényhez hasonló szerkezete van, ami alapvetően grafitmentes, és ezért nagy a keménysége és a kopásállósága.

4. Összefoglalás

A gömbgrafitos öntöttvasak fontosabb hőkezelései és azok hatásai az alábbiak:

- feszültségcsökkentés, ami egy kisebb hőmérsékletű hőkezelés azon belső feszültségek csökkentésére vagy leépítésére, amelyek az öntést követően visszamaradtak;
- lágyítás, a képlékenység és szívósság javítására, a keménység csökkentésére és a karbidok elbontására;
- normalizálás, a szilárdság javítására, bizonyos fokú képlékenység megtartása mellett;
- edzés és megeresztés, a keménység növelésére vagy a szakítószilárdság/folyáshatár arányának javítására;
- ausztemperálás, nagyobb szilárdságú bénites szerkezet elérésére, némi képlékenységgel és jó kopásállósággal;
- felületedzés-, illetve átolvasztás, indukciós vagy lézeres hevítéssel lokálisan, kopásálló, kemény felület kialakítása céljából.

Irodalom

- [1] *Cambridge Engineering Selector 4.5*, Granta Design Limited, Cambridge, 2001.
- [2] Volume Chairman D. M. Stefanescu: *ASM Handbook Volume 15 – Casting*. ASM International, 1998.
- [3] Editors and Authors: *ASM Handbook Volume 4 - Heat Treating*. ASM International, 1998.
- [4] Bagyinszki Gyula: *Anyagismeret és minősítés*. Budapesti Műszaki Főiskola, Budapest, 2004.
- [5] Bagyinszki Gyula: *Gyártásismeret és technológia*. Budapesti Műszaki Főiskola, Bp., 2004.
- [6] Bagyinszki Gyula, Bitay Enikő: *Felületkezelés*. Erdélyi Múzeum-Egyesület, Kolozsvár, 2009.