

A felületi feszültség és a fémmínőség

Dr. Szőcs Katalin

Kolozsvár

A felületi feszültség és az elegyeket alkotó elemek elektropozitivitása között összefüggés van. A fémiparban ismeretes az alkáli fémek és az alkáli földfémek vegyületeinek minőség-növelő hatása az alumínium, réz és vas ötvözeteinél. A gyakorlat azt mutatja, hogy ha egy fémfördőbe az illető fémnél elektropozitívabb elemeket vagy azoknak elegyét adagoljuk, a lehűlés után kapott fém kristályai módosulnak és szilárdsági jellemzői javulnak. Az ilyen irányú kísérletekről szóló leírás, mikroszöveti vizsgálatok által, betekintést nyújt a vasötvözetek minőségi változásának követésére. A ferrit, a perlit és a karbidok formája valamint a szilárdsági jellemzők nagymértékben függenek a felületi feszültség-növelő anyagok adagolásától.

Bevezető

A fémek minősége – vegyi, fizikai és szilárdsági jellemzőik – közvetlenül befolyásolják a legtöbb használati eszközünk élettartamát és minőségét. A fémek minősége és a mikroszövetükben fellelhető fémkristályok felületi feszültsége között összefüggés van.

A felhasználás függvényében a fémek minőségét különböző ellenőrzési és megelőzési módszerrel szavatolják. Ezeket három nagy csoportba sorolhatjuk: fizikai, kémiai és mechanikai jellemzők meghatározása. Valamely használati eszközben alkalmazott fém minőségét a célnak megfelelően e három módszer közül eggyel vagy többel is vizsgálhatják és minősíthetik. Ezek a vizsgálati módszerek kiegészítik vagy megerősítik a már kapott minősítési eredményt. Így a szükséges mechanikai jellemzők rendszerint jó mikroszövetet és vegyi összetételt igazolnak. Egyes esetekben az egyik ellenőrzési módszer kizáró jelleggel bír az illető fém minősítésénél. Így a gömbszén és a kopásálló ötvözetek minősítésénél a mikroszövet ismerete a legfontosabb. A mikroszövetben a fémkristályok alakja a fémolvadékokban fellelhető felületi feszültségre utal.

A felületi feszültség és az elegyeket alkotó elemek elektropozitivitása között összefüggés van. Így a fémgyártásban ismeretes az alkáli fémek és az alkáli földfémek jótékony hatása az alapfém mechanikai szilárdságára és mikroszövetére. A fémek mikroszövetében látható kristályok alakja megszilárdulás után a fémfördőben található felületi feszültség szerint alakul. A mechanikai jellemzők javulásával a fémkristályok mind gömbölyűbb alakot vesznek fel. Nemcsak az alkáli fémek és az alkáli földfémek javíthatják a többi fém tulajdonságait. Bármely fém esetében minden elektropozitívabb és tömörebb kristályráccsal rendelkező fém jó hatással lehet.

Ha egy fémfördőbe az illető fémnél elektropozitívabb elemet vagy annak vegyületét adagoljuk és utána rögtön kiöntjük, megszilárdulás után a kapott fém mechanikai jellemzői rendszerint jobb minőség-

gi szintet mutatnak és kristályai gömbölyűbbé válnak. Ezt az adagolást módosításnak, finomításnak, esetenként dezoxidálásnak nevezzük. Megfelelő körülmények között a fémkristályok alakja annál gömbölyűbb minél több elektropozitívabb elemet adagoltunk az adott fémfördőhöz. Mivel a túlzásba vitt módosítás a fém rétegződéséhez, úgynevezett flotációhoz vezet, a módosítási technológiát esetenként meg kell határozni. A módosításhoz szükséges anyagmennyiség általában 0,1-3% között változik. Mivel a módosításhoz használt elektropozitív fém könnyen oxidálódik és forráspontja sok esetben több száz fokkal alacsonyabb mint az alapfémé, ezért gyakran a módosító fém vegyületével vagy elegyével dolgoznak. A vegyületek az alapfém nagyobb olvadási hőmérsékletén rögtön elbomlanak. Módosításra a színesfémek öntésénél a következő vegyületek valamelyikét használják: nátriumkarbonát, nátriumhexafluoszilikát, nátriumszulfát, kalciumfluorid, magnéziumfluorid, nátriumfluorid, üvepor, kriolit, káliumklorid, kalciumoxid, magnéziumoxid stb.

A vas és más nehézfém módosítóanyagai ferroötvözetek néven ismertek, de lehetnek fémek is. A ferroötvözetek a tiszta vassal már előre 1-20%-ban elegyített magnézium-, kalcium-, bárium-, stroncium-, bór-, alumínium- és szilíciumtartalmú ötvözetek a módosítással járó olykor heves reakciók elkerülése végett. Elektropozitívabb jellege miatt a módosító fém könnyen oxidálódik nemcsak a levegő oxigénjével, hanem a fémfördőben található oxidokkal is, ezért erős dezoxidáló hatása is van. A módosító hatás időben változik. Az elektropozitívabb módosító elem, alacsonyabb olvadási hőmérséklete miatt, könnyen elpárolog és kiég, így módosító hatását fokozatosan elveszíti. Ezért a módosítóanyag adagolását közvetlenül öntés előtt kell elvégezni, lehetőleg az öntőüstben. Az így kapott fémeket az öntőüstből minél hamarabb ki kell önteni, mert a módosító hatás csak tovább csökken, mely mérhető a fém mechanikai jellemzőivel és látható a kristályok alakján. Ez a jelenség nem más mint a felületi feszültség csökkenése a módosításra

használt fém elpárolgása és oxidációja következtében. A szakirodalom a teljes indukált felületi feszültség csökkenését „lecsengésként” ismeri.

A fémmínőség, illetve a felületi feszültség időbeni változását legkönnyebben a mikroszöveten követhetjük. A fémek kristályszerkezetét a csiszolt felületükön vizsgáljuk vegyszerekkel való maratás után. Felületkezelő maratásra többféle vegyszert vagy azok elegyét használják, amelyek a cementitet nem támadják meg, de láthatóvá teszik a fémkristály kontúrjait. Maratásra salétromsavat, sósavat, pikrinsavat, krómsavat, nátriumpikrátot stb. használnak. A mikroszövet vizsgálatát megfelelő mikroszkóppal végzik, mellyel 100-tól 100 000-szeres nagyítás is elérhető.

Egyes fémek módosító hatása kristályszerkezetüknek köszönhető. Mivel összefüggés van a fémkristályok alakja, a felületi feszültség és a fémmínőség között, ezért röviden áttekintjük a fémek kristályosodási módját a továbbiak megértéséhez. Az ismertebb fémek kristályszerkezetét és rácsméreteit az 1. táblázat szemlélteti. Többnyire három kristályforma fordul elő: köbös, hexagonális és tetragonális. Az utóbbiak csak vegytiszta fémek esetében fordulnak elő. Így a használati tárgyainkban található fémek zöme köbös kristályrácsú. Kétféle köbös kristályrács ismeretes: tércentrált és lapcentrált. Legkevésbé tömör a tércentrált köbös kristály, 9 atommal egy rácsban, mely α -vas vagy ferrit néven ismeretes, mint lágy, kis mechanikai szilárdsággal rendelkező fém. Mikroszkóppal a ferrit világos mezőként látható. (1. ábra) A lapcentrált köbös kristály tömörebb, öt atommal többet tartalmaz, γ -vas vagy perlit néven ismert. Mikroszkóppal a perlit maratás után sötét mezőként látható. A csiszolt fémfelületen a ferrit és a perlit alakja lehet hosszúkasan megnyúlt vagy többé-kevésbé kerek. Gömbölyűbb kristály esetében a fém jobb mechanikai jellemzőkkel rendelkezik. A hexagonális kristályráccsal rendelkező fém a legtömörebb és a gömbölyűbb formához legközelebb álló kristállyal rendelkezik. Így kristályosodik a csúcstechnológiákban oly gyakran használt kobalt, titán és az elektropozitív magnézium. Ha az alumínium- vagy a vasötvözetek minőségét javítani akarjuk, legegyszerűbb ha módosítóanyagként hexagonális kristályráccsal rendelkező fémet adagolunk. A magnéziumadagolás kivételével ezt a műveletet ötvözésnek hívják. Ha a ferrites fémhez hexagonális szerkezetű fémet adunk, akkor perlites szerkezetet kapunk. A módosítás hatása fordítva is érvényesül. Ha egy perlites szerkezetű fémből ferriteset akarunk kapni, akkor savas jellegű módosítóanyagot kell adagolnunk, mely a felületi feszültséget csökkenti. Ilyen savas jellegű anyag a ferroszilícium. Ugyanakkor egy adott fém magasabb szilíciumtartalma savas jelle-

généel fogva több bázikus módosító anyagot igényel ugyanolyan felületi feszültség elérése érdekében.

A hexagonális kristályráccsal rendelkező bázikus módosító anyag minőségjavító hatását legkönnyebben a vas ötvözeteinél figyelhetjük meg. A legegyszerűbb acél vagy nyersvas más szennyező elem hiányában ferrites, azaz tércentrált köbös kristályszerkezetű. A vasat kísérő szén a kristályok szélén lemezes formában helyezkedik el. Ha a ferrites vashoz magnéziumot, kalciumot, báriumot vagy ezek elegyét adjuk a felületi feszültség növelésével a szén mind tömörebb formát vesz fel. Ezeket a szénalakzatokat kialakulásuk sorrendjében nevezik lemezes, fészkes, korall vagy vermikuláris, szabálytalan gömb és szabályos gömbgrafitnak. A 2. ábrán a fontosabb módosított vastípusoknak megfelelő grafitalakzatokat láthatjuk. Az Euroszabványok szerint a grafitípusokat római számmal jelölik I-től VIII-ig. A grafit gömbösödésével az öntvény szilárdsági jellemzői is mind magasabb minőségi szintet érnek el. (2. táblázat) Módosító vagy gömbösítő anyagként többnyire magnézium-reszeléket vagy magnéziumtartalmú ferroötvözetet használnak. A gömbgrafitos vas mikroszövetében a ferrit kerek fehér mezőként veszi körül a fekete gömbgrafitot (3-a. ábra) A perlit sötét mezőként jelenik meg a ferrit mögött. Az elektronmikroszkóppal a perlit lemezkéi jól láthatók a gömbgrafit mellett egy teljesen perlites vasban. (3-b. ábra)

Egy adott fém minőségére utal a fémfürdő salakjának SiO_2 illetve CaO tartalma is. A salak bázikusságát CaO/SiO_2 arányával fejezik ki. Fémek előállításánál a salak a levegő oxidáló hatására magából az alapfémből és a nemfemes zárványok kiválásából keletkezik. A salak bázikusságának ismerete igen fontos az olvasztómű belésének és a szükséges módosító eljárás kiválasztásához. A fémfürdő tetejére felszálló salak bázikussága nő a fém elektropozitív jellegével. Legbázikusabb a hexagonálisan kristályosodó fémek salakja, ahol a felületi feszültség is magasabb. A salak bázikussága legkisebb az alacsonyabb felületi feszültséggel rendelkező tércentrált köbös kristályrácsú fémeknél. Jó minőségű fémek öntéséhez a módosító hatás hosszabb kell legyen mint a módosítástól az ötvözet megszilárdulásig eltelt idő. Tehát az öntési idő rövidebb kell legyen mint a lecsengési idő. A fémöntések gyakorlatában az öntéshez szükséges idő 5 perctől 40-50 percig változik a formázósor sebességétől, az öntvények nagyságától és az öntés módjától függően. A módosító hatás időállósága az alkalmazott bázikus anyagtól és a fémfürdőben található savas jellegű elemek koncentrációjától függ.

1. Szürke öntvények

Kísérleteinket a szürke öntvények közül a gömbgrafitos vasakra terjesztettük ki, melyeknél a módosító hatás időállósága a grafit alakján könnyebben követhető. Kísérleteinkhez egy 5% és egy 11% magnéziumot tartalmazó szilíciumos ferroöntvözetet alkalmaztunk. A folytvvas hőmérséklete 1450-1480°C, miután kéntelenítettük a foszfortartalmat 0,040% alá csökkentettük, a szilíciumtartalmat pedig 0,1 és 1,4 között változtattuk. Lényegében a fürdő szilíciumtartalmának 1,4% alá való csökkentésére külön finomítási technológiát dolgoztunk ki. [14]

A grafit alakjának változása a magnéziumöntvözet adagolásával egy 0,6% szilíciumot tartalmazó elővasnál a 4. ábra szerint alakult. Kevesebb magnéziumot tartalmazó ferroöntvözetből többet kell adagolni, hogy megfelelő gömbösítő hatást érjünk el. A mikroszövet vizsgálatára a mintákat módosítás után 5 perc múlva öntöttük.

A vasfinomítás költséges volta miatt és az adott öntési időnek megfelelő lecsengési idő ismerete érdekében, a finomítási fok változásával vizsgáltuk a grafit alakját különböző öntési idő után. Az 5. ábra a lecsengési idő és az olvadék szilíciumtartalma közti összefüggést mutatja különböző mennyiségű és minőségű magnéziumöntvözet adagolásánál, 0,030% kéntartalomnál, 0,040% foszfor- és 0,32% mangántartalomnál.

A fürdő szilíciumtartalmának a növekedése a gömbgrafit gyorsabb szétesését eredményezi. Ugyancsak rövidebb lecsengési időhöz vezet a kisebb magnéziumtartalmú ferroöntvözet és a kisebb adagolási mennyiség. Ha a körülmények miatt vagy a minőség biztosításáért nagyobb öntési időre illetve későbbi lecsengésre van szükségünk, kisebb szilíciumtartalommal, vagy adott esetben nagyobb magnéziumadagolással kell dolgoznunk. A magnéziumadagolást azonban a végsőkéig nem lehet növelni épp a módosítás után keletkezett folytvvas szilíciumtartalmának növekedése miatt. Ahhoz, hogy a keletkezett gömbgrafitos vas szilárdsági jellemzői jók legyenek a végső szilíciumtartalom nem haladhatja meg a 3,0%-ot. A helyzetet bonyolítja, hogy nemcsak a magnéziumöntvözetben levő szilíciummal kell számolnunk. A magnézium hatására az α -vasból (ferrit) γ -vas (perlit és cementit) lesz, mely a kialakult ötvözetnek nagy törékenységet kölcsönöz. A gömbgrafitos vasra jellemző rugalmasság eléréséért a magnéziummal való gömbösítés után mindig ferro-szilíciumot is kell adagolni, mely újabb szilíciumnövekedéshez vezet. Ezért az elővasnál eléggé szűk szilíciumtartománnyal és jó minőségű magnéziumöntvözetrel kell dolgoznunk. A ferroszilícium adagolásának változtatásával a ferrit/perlit arányt a kívánt értékre állíthatjuk a vas szilárdsági paramétereinek megfelelően. A 3. táblázatban látható gömbgrafitos vasminőségek szilárdsági jellemzőit az optimális

zónának megfelelő paraméterek betartásával kaptuk. Megfigyelhető, hogy hőkezelés nélkül milyen nagy a szakítószilárdság, a folyáshatár és a nyúlás. Kísérleteink eredményeit több és alkalmazott találmányban hasznosítottuk.

A fémek minősítéséhez szükséges szilárdsági jellemzők és a mikroszövet vizsgálata nemcsak drága és időigényes, hanem az öntvények egy részének feldarabolását is igénylik. Ezenkívül a gyártás során szükséges gyors döntéshozatalhoz nem megfelelően gyors ellenőrzési módok. A gömbgrafitos öntvények gyártásánál a lecsengés ellenőrzésére és a minőség jobb biztosítása érdekében gyorsabb roncsolásmentes vizsgálatok kutatásába kellett hogy kezdjünk. Összefüggést kerestünk a grafit alakja illetve a vas kristályainak felületi feszültsége és az ultrahang terjedési sebessége között. Az ultrahangos mérésekhez ép öntvényeket valamint szabványos mintadarabokat is használtunk. Az ultrahangot mint minőségellenőrző módszert az utóbbi két évtizedben az acélgyártásban használták rejtett üregek és zárványok kimutatására.

A kísérletek során kiderült, hogy a grafit alakja nagymértékben befolyásolja a vas-szén ötvözetekben az ultrahang terjedési sebességét. A nemzetközi minősítési szabványok szerint a gömbgrafitos vasnál fontos mikroszöveti követelmény az V. és VI. típusú grafit aránya a III. és IV. típusúhoz képest. kísérleti eredményeink szerint az V. és a VI. típusú gömbgrafit arányának növekedésével mind a ferrites mind a perlites gömbgrafitos vasban az ultrahang terjedési sebessége nő. (7. ábra) A mérési eredmények nagy szórása ellenére megfigyelhető, hogy a ferrites (tércentrált köbös) szövetű öntvényben az ultrahang terjedési sebessége valamivel kisebb, mint a túlnyomóan perlites (lapcentrált köbös) szövetűben. Logikusan következik, hogy a cementittartalom növekedésével is nő az ultrahang terjedési sebessége, ahogy a további kísérletek igazolták. [12] A mikroszövet elemei, mint a ferrit, perlit, cementit, gömbgrafit mennyisége és az ultrahang terjedési sebessége közti összefüggést a 8. ábra mutatja. Ez a diagram a gömbgrafit arányát veszi figyelembe, nem szemlélteti a flotációs rétegben található VII. és VIII. típusú grafit hatását. Ez azért történik, mert a jól tápfejezett öntvényeknél a flotációs réteg nem jelenik meg. Méréseink azonban azt igazolják, hogy az I. típusú grafitól a VIII. típusú felé haladva a felületi feszültség növekedésével az ultrahang terjedési sebessége folyamatosan nő. (10. ábra) A mérési eredmények nagy szórásának egyik oka az, hogy az ultrahang terjedési sebességét az eutektikus cellák nagysága is befolyásolja. A mikroszövet minél apróbb kristályú, annál nagyobb az ultrahang áthaladási sebessége és annál jobb minőségű. A másik ok a fémkristályok szilárdulási irányában keresendő. A fémolvadék beömlési és dermedési irányával párhuzamosan és me-

rölegesen mért ultrahang terjedési sebességek 100-280 m/s eltérést mutatnak.

Ismeretes, hogy a gömbgrafitos öntvény rétegződésre hajlamos különösen akkor, ha több magnéziumot vagy ferroszilíciumot adagolunk jobb gömbösítésért vagy nagyobb nyílás eléréséért. Kísérleteink eredményeképp ultrahanggal kimutatható a rétegződés oka. Ha a flotációt magnézium, bárium, stroncium stb. túladagolása okozza, az ultrahang terjedési sebessége a felső flotációs rétegben nagyobb (5700-5760 m/s), az öntvény alsó részében kisebb (5500-5640 m/s). Ha a rétegződés oka a ferroszilícium minősége vagy a túlhaladott öntési idő miatti lecsengés, a flotációs rétegben az ultrahang terjedési sebessége mindig kisebb mint az öntvény alsó részében. Az első esetben a flotációs rétegben VII. és VIII. típusú grafit, a második esetben III. és IV. típusú grafit található. Ennek ismeretében az ultrahang segít a gömbgrafit öntvénygyártás javítását célzó döntések gyors meghozatalában, ugyanakkor betekintést nyújt a fémkristályok felületi feszültségére, illetve a fém minőségére.

2. Fehér vasak

Az ötvözött fehér vasaknál is megfigyelhető a felületi feszültséget növelő anyagok jótékony hatása a mikroszövetre, illetve az ötvözetek tartósságára. A karbidos ötvözeteket kopásálló alkatrészek gyártására használják a golyósmalmoknál, hengerműveknél, gépjárműveknél stb. E nagy keménységű ötvözetektől függ a cement minősége, a porcelán kötőképessege, a színesfémek érceinek tisztítása stb. A kopásállóság növelésére a vasat karbidképző elemekkel ötvözik, mint a króm, vanádium, wolfrám. Szükség esetén a vas 25-30% krómot is tartalmazhat. A különböző ötvözőelem karbidjainak keménysége eltérő, ahogy a 10. ábra is mutatja. [13] Logikus volna, hogy a nagyobb keménységű karbidokat elemek használata, mint a bór, titán, cirkónium, vanádium, kopásállóbb öntvények gyártását tennék lehetővé. Az oxigénnel szembeni nagyobb affinitásuk miatt nagyobb mérvű ötvözésre mégsem használják őket, mert viszonylag hamar oxidálódnak és kiválnak a vas salakjába. Míg a krómmal ötvözött folytvas salakjának krómtartalma csak fele mint a fémnek, addig a vanádiummal ötvözött vas salakjában 15-20-szor annyi vanádium található mint a megfelelő fémfürdőben. Nagyobb mérvű ötvözést az öntőüstben pedig nem lehet végezni a vas lehülése miatt. A fenti ferroötvözetek az olvasztó kemencében kell a vashoz adagolni magas olvadási hőmérsékletük és nehézkes porításuk miatt. Az ötvözésen kívül a fehér vasakat az üstben is módosításnak kell alávetni.

Kísérleteinkhez krómmal ötvözött fehér vasat állítottunk elő 13-32% krómtartalommal, melyben

2,3-2,4% szén, 0,2-0,3% szilícium és mangán, 0,030-0,040% kén és foszfor is volt. Az üstben való módosításnál különböző aktivitású elemet használtunk, hogy a fémkristályok közötti felületi feszültség hatását vizsgálhassuk. Öntés után a vas minőségét a szabványoknak megfelelően koptató vizsgálatokkal és az alapszövet elemzésével ellenőriztük.

A koptató vizsgálatokat M50(03) kvarchomokkal és sajtolt acélból készült ellentesttel végeztük. Három változónak (a krómtartalom, t kopási idő, p kontaktnyomás) a kopásra gyakorolt hatását vizsgáltuk. A változók alapszintjét és terjedelmét a 3. táblázat tartalmazza. A fordulatszám állandó, 350 ford/perc. A kopást tömegcsökkentéssel mértük milligrammban. A 11. ábrán látható kopási eredményekből a következő regressziós egyenlethez jutottunk:

$$m = 4,39 - 0,2524 \cdot Cr + 1,195 \cdot T + 7,892 \cdot p$$

A kopás a krómtartalom növekedésével csökken, a nyomás és az idő növelésével pedig nő.

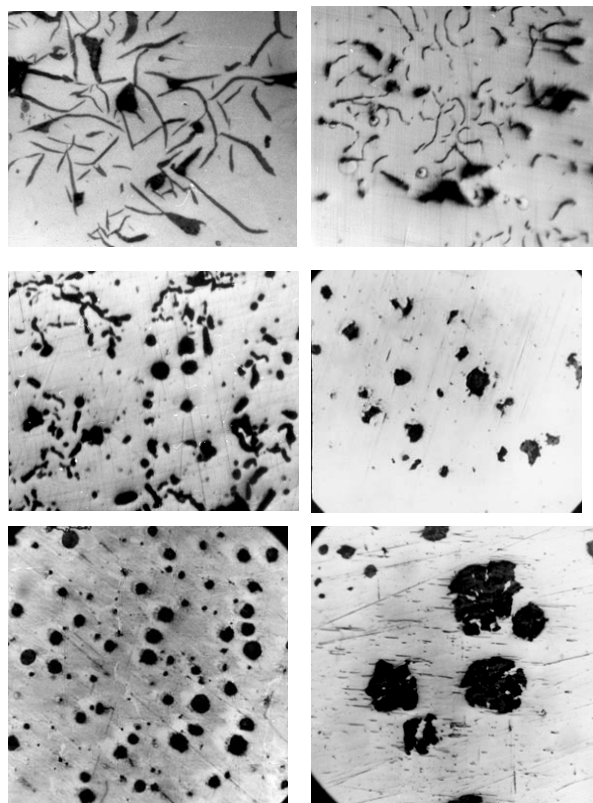
A kopásálló ötvözetek alapszövetében fehér karbidok és sötét mezőinek látszó ausztenit és/vagy martenzit található. Az apróbb szemcséjű karbidtömörülések és a kerekesebb formájú martenzitmezők jobb minőségű ötvözetre utalnak. A koptatási felület metszetének alapszövege azt mutatja, hogy a martenzites mátrix és a karbidtömörülések egyenlően kopnak. (12. ábra) A kvarchomok szemcséi helyenként barázdásan kitépik az ötvözetet; a kiszakítás mindig a kristályhatárokon elhelyezkedő karbidok mentén történik. Elektronmikroszkóppal jól láthatók a kitépelt kristályok kontúrja. (13. ábra) A mátrix törékeny részét tehát a karbidok képezik. Ebből következik, hogy nemcsak a karbidok mennyisége, hanem a mátrix és a karbidok alakja, valamint finomsága a fém minőségét közvetlenül befolyásolja. Ahhoz, hogy megvizsgáljuk az üstben való módosítás hatását az alapszövetre különböző bázikus és savas jellegű adalékanyagot használtunk. A módosító anyagokat porítottuk 1-2 mm szemcse nagyságúra és öntés előtt az üstbe adagoltuk. Egy 2,3% szén-, 0,3% szilícium- és 0,4% mangántartalmú kéntelenített vasat 15,3% krómmal ötvöztünk 1500°C-on. A vas alapszövetét ötvözés előtt és után a 14. ábra szemlélteti. A krómmal való ötvözés az eutektikus karbidok felaprózódásához vezet. Módosítás nélkül a mátrix és a karbidok hosszúka alakja és irányítottága gyenge vasminőségre utal.

Módosítóanyagként ferroszilíciumot (FeSi), folypátot (CaF₂), ferrobórt (FeB), és ferroszilikomagnéziumot (FeSiMg11) használtunk. A módosítás után kapott ötvözetek alapszövetét a 15. ábrán láthatjuk, a karbidrészeske számláló kvantimmal mért jellemzőket és az ütőmunkát a 4. táblázat szemlélteti. Legjobb eredményt a ferrobór + folypát kombinált módosítóanyaggal értük el (14-1. ábra),

mellyel legtöbb apró szemcséjű karbid, finom mátrix és nagy ütőmunkájú ötvözet keletkezett. Bizonyára a bór és kalcium együttes felületi feszültségkeltő hatása érvényesült. A 14-4. ábrán látható, hogy a savas jellegű szilícium módosítóanyagként nem használható dezoxidáló hatása ellenére sem. A magnéziumot és szilíciumot tartalmazó (FeSiMg11) ferroötvözzel a karbidok felaprózódnak, de a mátrix elnyúlt alakot vesz fel, mely törekeny ötvözetet eredményezett. Ebből következik, hogy jó minőségű kopásálló ötvözet csak felületi feszültségnövelő bázikus anyagok adagolásával nyerhető. A felületi feszültség növelésével azonos hőkezelési mód mellett a martenzitmezőben található szekunder karbidok formája is kerekedik. Ezek a karbidok csak elektronmikroszkóppal láthatók (16. ábra).

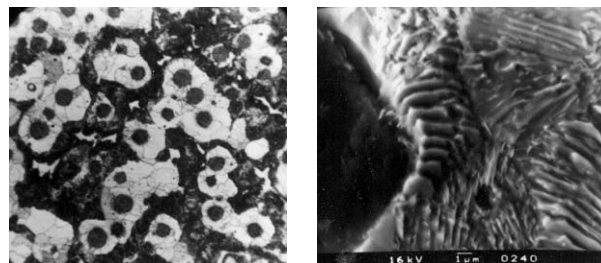
A kísérletek eredményeként két bejegyzett és alkalmazott találmány született. A legyártott ötvözetek egyes hengerműben és cementmalom őrlőgolyóiként (Torda, Élesd, Deva, Roşia Montana, Medgidia stb.) kis kopás után megtalálhatók.

A fentiekből kitűnik, hogy összefüggés van a fémötvözetek kristályainál észlelt felületi feszültség és a fémek minőségi jellemzői között. Megfelelő ötvözzel és elektropozitívabb módosítóanyagok használatával, valamint jó hőkezeléssel az ötvözetek élettartama tovább növelhető. Az alkáli fémek vagy alkáli földfémek adagolásával a kristályok gömbölyűbbek és apróbbak lesznek, szívósabb és kopásállóbb ötvözetet eredményeznek.



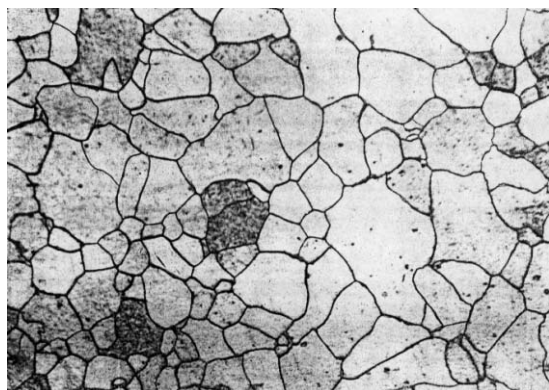
2. A grafit alakjai, 200x:

1. lemezes, I;
2. fészkes, II; 3. vermikuláris, III,
4. szabálytalan gömb, IV és V;
5. gömbgrafit, VII és VI; 6. flotációs, VII, VIII.

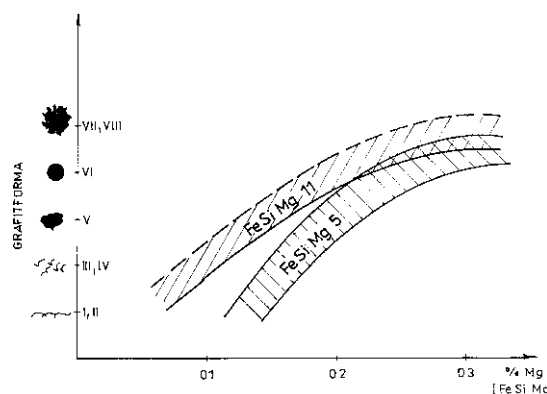


3. A gömbgrafitos vas alapszövete,
a. 10% ferritet tartalmazó perlitese vas, 200x
b. a perlit erezete a gömbgrafit mellett, 16 000x

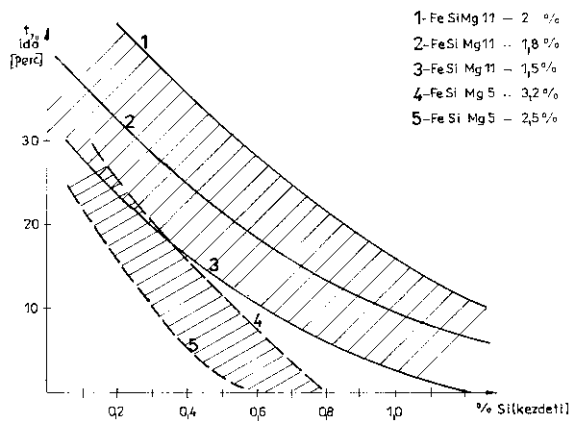
Ábrák



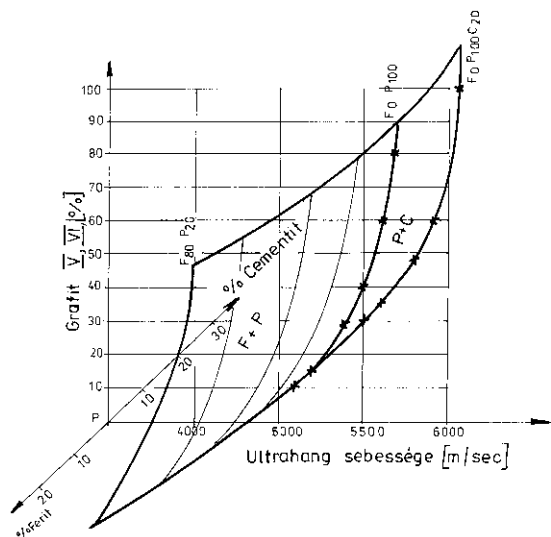
1. A ferrit, az α -vas alapszövete, 100x



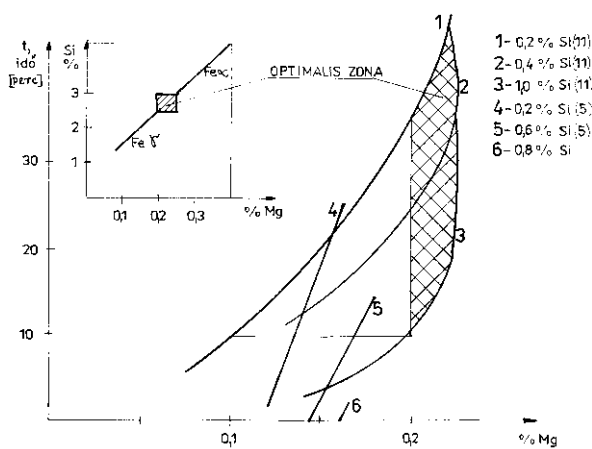
4. A grafit alakjának változása magnézium adagolás hatására.



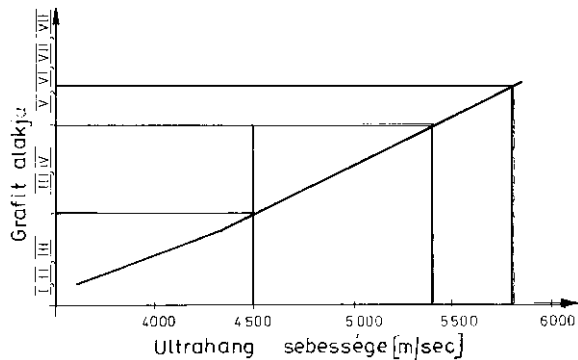
5. A lecsengési idő, az olvadék szilíciumtartalma és a magnéziumadagolás közti összefüggés.



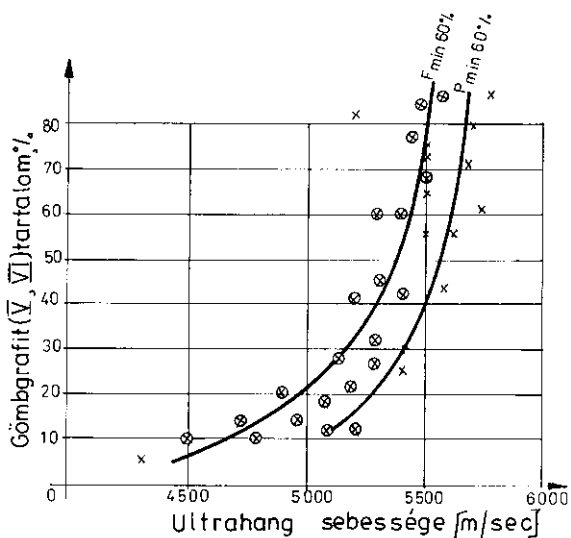
8. Az alapszövet elemei és az ultrahang terjedési sebessége közti összefüggés.



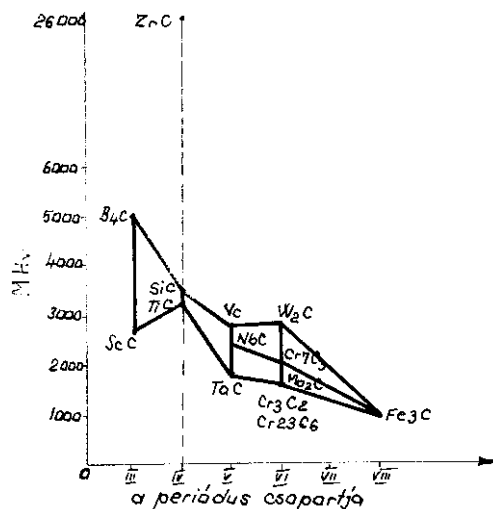
6. A lecsengési idő magnéziumadagolás függvényében az optimális technológiai adatokkal.



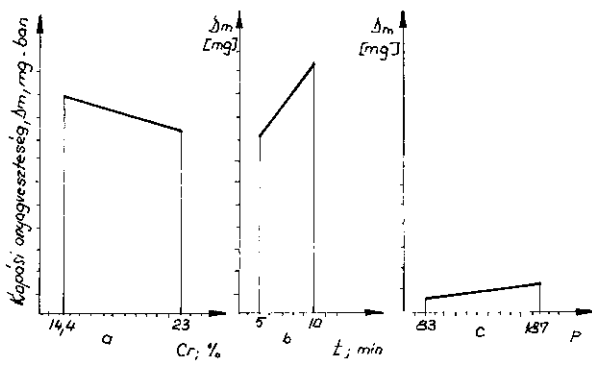
9. A grafitt alakja és az ultrahang terjedési sebessége közti összefüggés.



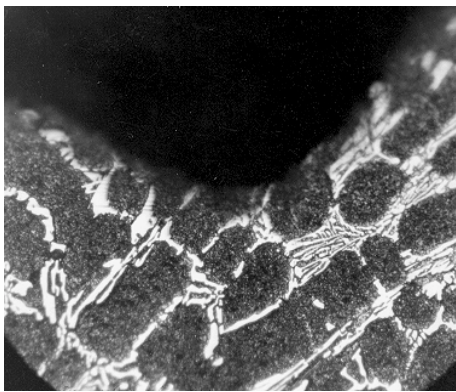
7. Az ultrahang terjedési sebessége a gömbgrafittartalom (V. és VI.) függvényében.



10. A karbidok mikrokeménysége (MHv) az elemek elektropozitív jellege függvényében.



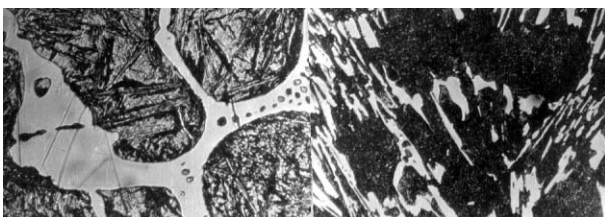
11. A kopási anyagvesztés a változók (Cr, t, p) függvényében.



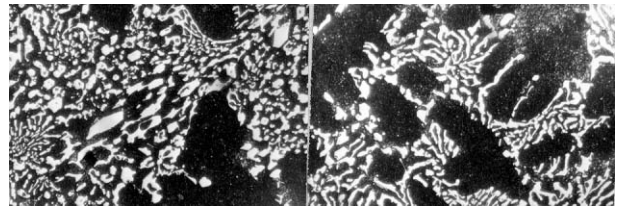
12. A kopási felület metszetének alapszöveve, 200x.



13. A felületről az anyag kiszakadása a kristályhatárok mentén történik, 1200x.

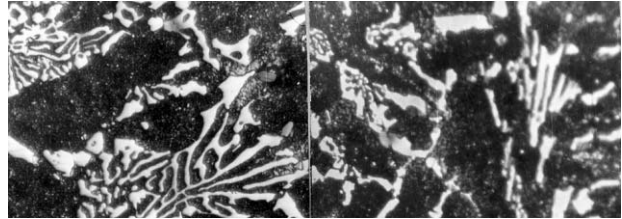


14. A kiinduló vas alapszöveve módosítás nélkül, 500x:
a. ötvözés előtt; b. ötvözés után



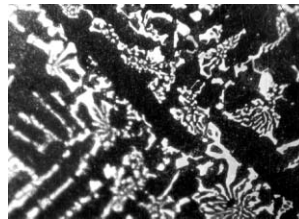
1. FeB + CaF₂

2. FeB



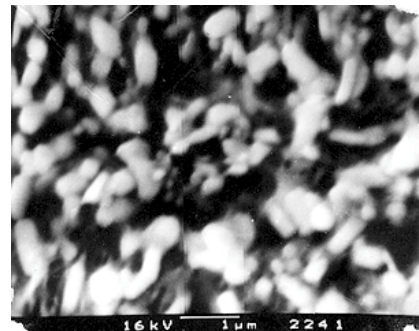
3. CaF₂

4. FeSi

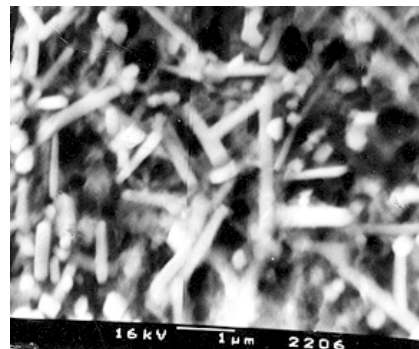


5. FeSiMg11

15. Az ötvözet alapszövevének változása módosítással, 500x



a. FeB adagolás előtt



b. FeB adagolás után

16. A szekunder karbidok látható alakja az elektronmikroszkóppal,

Táblázatok

1. táblázat. Egyes fémek kristályszerkezete (3)

| Fém | Rácsméret L | Fém | Rácsméret L |
|-----------------------|-------------|--------------|---------------|
| Tércentrált köbös | | Hexagonális | |
| Króm | 2,88 | Kobalt | c 4,02 a 2,51 |
| Molibdén | 3,51 | Magnézium | c 5,21 a 3,21 |
| Vanádium | 3,03 | Titán | c 4,68 a 2,95 |
| Wolfram | 3,16 | Cink | c 4,95 a 2,66 |
| Ferrit (Fe α) | 2,86 | | |
| Lapcentrált köbös | | Tetragonális | |
| Alumínium | 4,05 | Ón | c 3,18 a 5,83 |
| Ezüst | 4,09 | | |
| Arany | 4,68 | | |
| Réz | 3,62 | | |
| Nikkel | 3,52 | | |
| Platina | 3,92 | | |
| Ólom | 4,95 | | |
| Perlit (Fe γ) | 3,63 | | |

2. táblázat. A különböző grafitformát tartalmazó öntvények szilárdsági jellemzői

| Grafit forma | Keménység HB | Húzószilárdság N/mm ² | Nyúlás % |
|----------------|--------------|----------------------------------|----------|
| 0 Gömbgrafit | 180-600 | 420-750 | 4-20 |
| (Vermikuláris | 180-300 | 300-400 | 1-2 |
| - Lemezes | 180-220 | 120-250 | - |

3. táblázat. A vizsgált gömbgrafitos öntvények szilárdsági jellemzői

| Anyag-minőség | Húzó-szilárdság N/mm ² | Folyáshatár N/mm ² | Nyúlás % | Keménység HB |
|---------------|-----------------------------------|-------------------------------|----------|--------------|
| GGG 400 | 475-553 | 332-386 | 9-20 | 170-180 |
| GGG 500 | 520-584 | 370-403 | 5-12 | 180-207 |
| GGG 600 | 610-685 | 415-455 | 1-5 | 220-260 |

4. táblázat. A kopásvizsgálat változóinak alapszintje és terjedelme

| Változó | Cr, % | t, min | P, MPa |
|------------|-------|--------|--------|
| Alapszint | 19,7 | 7,5 | 1,35 |
| Terjedelem | 10,6 | 5,0 | 1,04 |

5. táblázat. Az ötvözetek alapszövetének jellemzői és mechanikai szilárdsága

| Módosító-anyag | Mátrix | Karbidok | Karbidmennyiség | | Keménység HB | Útómunka J/cm ² |
|---------------------------|-----------------------|----------|-----------------|--------------|--------------|----------------------------|
| | | | % | Szem-cseszám | | |
| | | | | | | |
| | mérete, μm | | | | | |
| 1. FeB + CaF ₂ | 30-90 | 50-100 | 23 | 10670 | 63 | 12-13 |
| 2. FeB | 30-90 | 40-90 | 22 | 6403 | 62 | 10-12 |
| 3. CaFe ₂ | 40-120 | 30-70 | 22 | 5733 | 63 | 10-12 |
| 4. FeSi | 30-100 | 20-50 | 21 | 3468 | 61 | 4-5 |
| 5. FeSiMg | 20-100 | 30-70 | 23 | 5013 | 62 | 5-6 |

Irodalom

- Erdey-Grúz Tibor: *A fizikai kémia lapjai*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1958., 196 old.
- Szalay Béla: *Fizika*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1982., 312 old
- Goras, Georgeta: *Metalurgie fizică elementară*. Editura Tehnică, București, 1974., 33 old.
- Pálfalvi, A., Mehedințianu, M., Andrei, E., Nicolae, V., Brestin, A., Sontea, S., Floriganta, Gh: *Tehnologia materialelor*. Editura Didactică și Pedagogică, București, 1985.
- Pohl, D., Die Bedeutung der Graphitform für die mechanischen Eigenschaften des Gusseisens mit Kugelgraphit. Giesserei, 64. k. 1977. 24. sz. p. 623-633
- Vazquez, I.I.B.: Determination des caractéristique mecaniques de la fonte par application des ultrasons. 46. nemz. öntökongr. Madrid, 1979. 14. előadás
- Pohl, D., Otto a.: Qualitätssicherung mittels Ultraschall bei der Herstellung von Gusseisens mit Kugelgraphit, Giesserei, 66. k. 1979. 19. sz. p. 712-716
- Powel, W.L.: *Ultrasonic Inspection of Compacting Graphite Castings*. AFS Casting Congress, Birmingham (USA), 1979.
- Parks, J.L.: *Giesserei-Praxis*. 1979. p. 81-91
- Bereza, J.M.: *Brit. Foundryman*. 74. k. 1981. 10. sz.
- Szőcs, Ecaterina: *Contribuții la modificarea fontei albe*. Conferința de turnătorie, Cluj, 1985.
- Szőcs Katalin: *A gömbgrafitos öntvények vizsgálata ultrahanggal*. Kohászat, 130. 1997. nr. 4, 125-129
- Grigorovici, V.K.: *Russ. Cast. Prod.* 1971. nr. 4. 203-206
- Szőcs Katalin: *Vastisztítás indukciós tégelykemencében*. I, II, Múzeumi Füzetek, 1994. nr. 3. 61-68