

# A zsugorítómu fejlesztése új technológiákkal

**Dr. Szocs Katalin**  
Kolozsvár

## Abstract

*The life of the agglomerator band is an important factor of the plant's economic efficiency. There are contradictions requirements against the material of the grids and carts. A good wear resistance and a high heat resistance test value is needed as well. The carts, made of modular graphite castings and the grids, made of chrome casting increase the life time of the plant's considerably. The article presents the trials for determination of the configuration and chemical composition of the castings.*

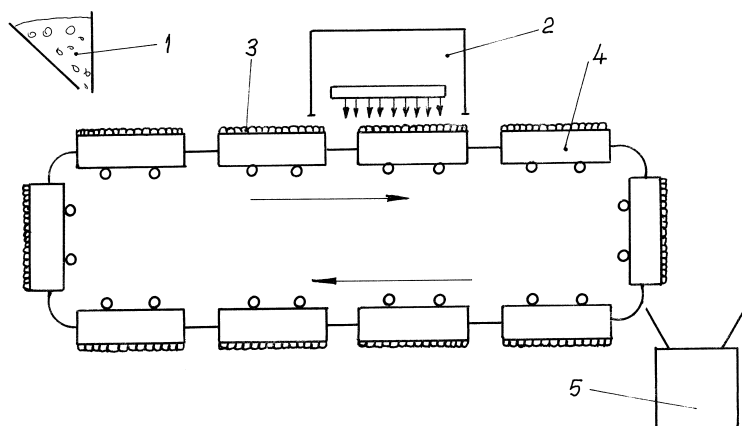
*Key words: modular graphite, chrome casting, wear resistance, heat resistance, agglomerator grids and carts.*

A zsugorítómuiban dolgozó konvektorok élettartama és működőképessége a gyakorlati tapasztalat szerint a magas hőmérsékletű zónában lévő részek tartósságától függ. A hőállóság a különböző tárgyak egyik gyakorlati haszonnal járó tulajdonsága. Ez olyan anyagi jellemző, melynek ismerete és megvalósítása elkerülhetetlenül szükséges nagyobb hőfokon dolgozó berendezések összetevőinél.

Ismeretes, hogy hőálló alkatrészeket kapunk kromötvözetekből. Többféle kromos vasötvözetet ismerünk különböző szilárdsági paraméterekkel és hőállósággal. A hőállóságon kívül közös jellemzőjük nagy keménységük és törékenységtől mentesítésük. Megfelelően bizonyulnak hőálló rácsok, görgők, tárcsák öntéséhez, de nem alkalmasak olyan alkatrészek gyártására, melyek nagy hőállóságuk mellett szívósságot és megmunkálhatóságot igényelnek. Ennek a célnak a hőálló acélok sem felelnek meg, ezért a legtöbb hasonló esetben a szilárdsági paraméterek fontosabb kritériumok lévén, öntött acélt használnak.

Shívósságuk és ötvözéssel elérhető nagyobb kopásállóságuk révén a gömbgrafitos vasak sikerrel helyettesítik az acélból készült alkatrészek anyagát. A gömbgrafitos öntvények hőállóságának növelése egyik igen fontos követelménye az olyan ipari berendezések tartósságának növelésénél, ahol a hőállóság mellett a nagy szívósság is fontos követelmény. A célnak megfelelő technológiával előállított gömbgrafitos vasból készült alkatrészek tartóssága felülmúlja az acélból öntött darabokét. Gondos forma- és anyagtervezéssel jobb minőségű és piacképebb berendezés érhető el, ha a cserélendő alkatrészeket a célnak megfelelően gyártjuk le.

A nagy hőmérsékleten dolgozó érczsugorító berendezéseket és azok cserélendő alkatrészeit rendszerint acélból gyártják. Az acél a mechanikai igénybevételeknek megfelelő anyag, de hő hatására először alakváltozást szenved, majd kiég. Elég gyakran ki kell cserélni az eltorzult vagy kiégett alkatrészeket. Például az acélból készült zsugorító szekereket három hónaponként kell kicserélni vagy teljesen kicserélni. A szekér kicserélési költségeit növeli az is, hogy a szekerek méretváltozása miatt a rajta lévő rácsok lehullanak és a rácsokból is újakat kell rakni. A zsugorítómu elvi vázlatát az 1. ábrán látható.



1. ábra

A zsugorító szalag elvi vázlatát.

1 – ércadagoló, 2 – kemence, 3 – rácsok, 4 – rácsszeker, 5 – zsugorítómuvezető

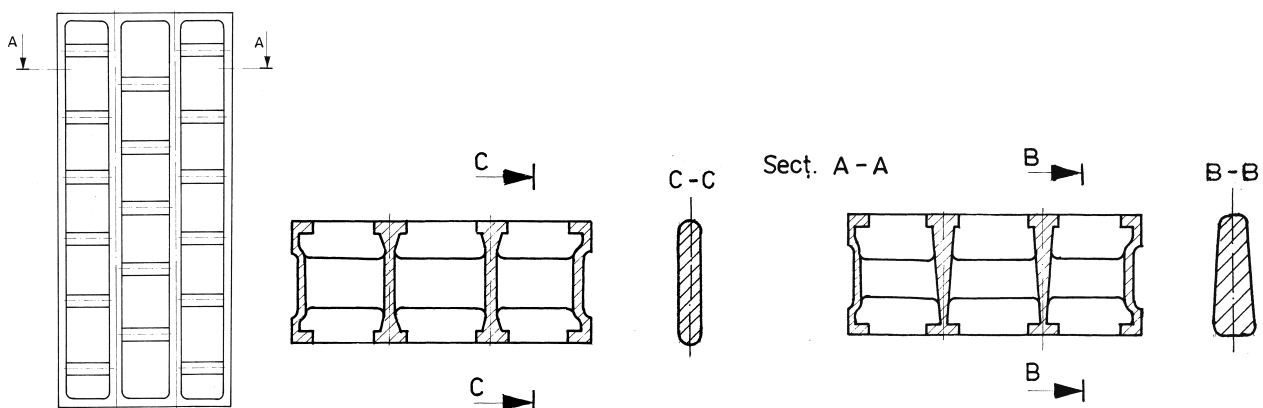
A szekereken levo rácsok biztosítják azokat a légréseket, amelyek feltétlenül szükségesek a zsugorító folyamat elosegítéséhez: a levego oxigénjének behatolásához és a keletkezett goz és gázok eltávolításához. Az acélból készült szekerekhez rendszerint a kis hoállósággal bíró szürke öntvénybol készült rácsokat használják. A szekéren három sor rács található. Kézi felrakásához és az állandóan hiányzó, a konveor minden körbejárásakor lehullott rácsok pótlásához nagy számú kezelo személyzet szükséges. Egy zsugorító szalag karbantartása sokkal több munkaerot igényel, mint üzemeltetése. A termelési költségeket jelentosen növeli az a tény is, hogy a javításhoz szükséges termelésekiesés 2–3 hónap. Ezért rendszerint két zsugorító szalaggal dolgoznak: az egyik üzemel és a másik javításban van. A zsugorítómu kapacitásának megfeleloen több méretu szekér és rács létezik, amelyek hasonló feltételek mellett dolgoznak. A zsugorítószalag teljesítményével nemcsak az alkatrészek mérete változik, hanem azok száma is. A nagyobb kapacitású konvejort 198 szekér alkotja, a kisebb kapacitásút 188 szekér.

## Kísérleti eredmények

### Hoálló szekerek

Célul tuztük ki a zsugorító szalag muködokepeességének növelését hoálló szekerek és rácsok gyártásával. A hoálló anyagoknak megfeleloen újra kellett terveznünk a szekerek és rácsok alakját. A szekerek és rácsok összeillesztését úgy oldottuk meg, hogy megmunkálást csak a szekereken kelljen eszközölnünk és a kemény anyagból öntött rácsokon ne. A zsugorító szekere és más hoálló alkatrész több mechanikai igénybevételnek van kitéve mint a rácsok. Nagyobb hajlító- és húzóero hat a szekerekre és kisebb hoigénybevétel. A rácsok nagyobb hohatásnak vannak kitéve és kisebb hajlítóeronek. Ezért a szekér anyagaként az acélt nem lehet a viszonylag törekeny és nehezen megmunkálható krómötvozzettel helyettesíteni. A rácsok anyagának a kemény krómos vas megfelel, ha öntésbol pontos méretre lehet legyártani utólagos megmunkálás nélkül. A szekérnek a zsugorító szalag legfontosabb láncszemeként hordoznia kell a rácsokat és védofalakat a zsugorítómannal együtt. A zsugorító szalag konvejorként forog körbe, 800–1000 C° között üzemel a kemence alatt, hogy utána gyorsan 70–100 C°-ra huljön le. A hulés sebessége a hideg évszakban nagyobb. A hevítés és lehülés 4–5 órás ciklusokban történik. A nagy hoingadozások mellett a zsugorítószalag eros korróziós hatás alatt üzemel, vízgoz, szénmonoxid, széndioxid, kéndioxid jelenlétében. A zsugorítómu szekere nagy húzóeronek van kitéve, lévén egyike a 188 szekeret tartalmazó konvejornak.

A 2a. ábrán egy zsugorító szekeret láthatunk felülnézetben. A zsugorító kapacitástól függően hosszúsága 3–4 méter, szélessége 1,8–2 méter között van. A 2b. és 2c. ábrán követheto a szekér bordázatának változása az anyagminőség szerint. Az acélból készült szekér bordái hosszú vékonyak, a gömbgrafitos vasból készült szekér bordái rövidebbek és lefeké vastagodnak. Erre azért van szükség, mert a gömbgrafitos vas gyorsabban dermed, mint az acél és alakváltoztatás nélkül kello tápfejezés mellett is a szekér felső felében szívódási üregek keletkeznek. Jóllehet a gömbgrafitos vas zsugorodása közel áll az acéléhoz, mégis az eredeti alakban való öntésnél megmunkálás után zsugorodási üregek váltak láthatóvá. A tápfejek növelése esetén sem tunt el a lunker. A 2b. ábrán az acélból készült eredeti szekér A – A metszete látható és a 2c. ábrán a hoálló gömbgrafitos vasból készült szekér metszete. A szekér alakjának változtatásával és a beömlö középre helyezésével zsugorodási üregek már nem keletkeztek.



2. ábra

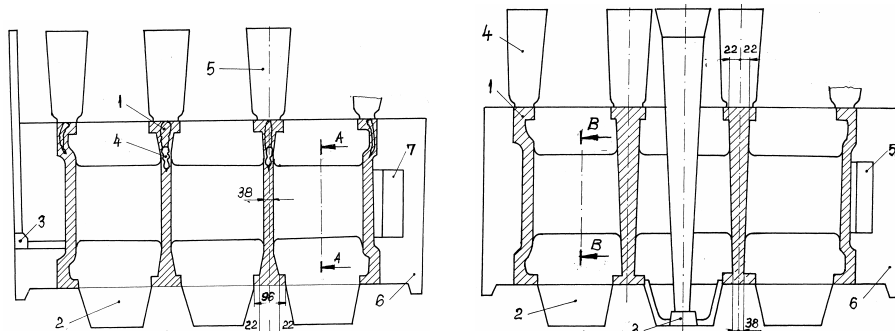
A zsugorító szekere

a – felülnézet

b - A-A metszet az acélból készült szekéren

c – A-A metszet a gömbgrafitos vasból készült szekéren

A 3. ábra szemlélteti a zsugorító szekér öntési technológiáját. A 3a. ábra bemutatja az eredeti alakban való öntést oldalsó beömlő csatornával, ahogy az acélból készült szekereket öntik. A 3b. ábrán az újabb technológiával a gömbgrafitos vasból öntött szekér keresztmetszetét láthatjuk a beömlő csatornával közösen. A gömbgrafitos vas szövetszerkezetét a szekerekkel egybeöntött appendix-próbákon ellenoriztuk.



3. ábra

A zsugorító szekér öntési technológiája A-A metszében

a – eredeti alakban, oldalöntés      b – új alakban, öntés középről

1 – szekér  
 2 – magmárka  
 3 – beömlő  
 4 – lunker  
 5 – tápfej  
 6 – mag  
 7 – appendix próba

1 – szekér  
 2 – magmárka  
 3 – beömlő  
 4 – tápfej  
 5 – appendix próba  
 6 – mag

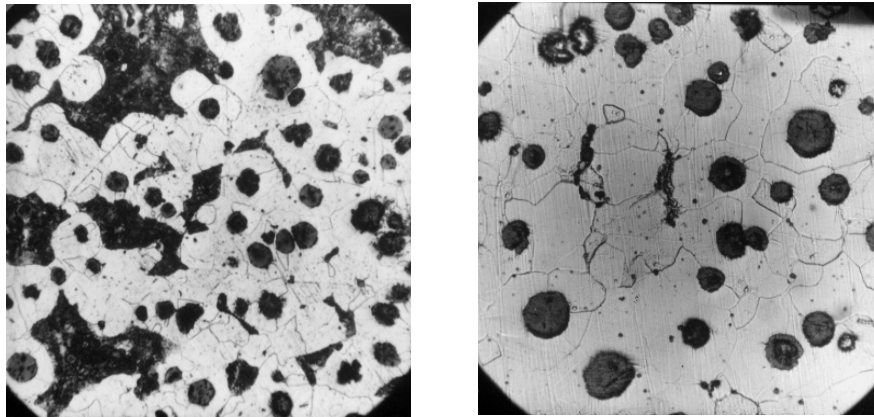
A folytvass előállítását egy 12 tonnás indukciós kemencében történt. Eloszor egy magas tisztaságú elovasat állítottunk elő acélhulladékból és grafitelektróda törmelékből. Az elovasat hematittal tisztítottuk és szükség esetén kéntelenítettük. (3) Az 1. táblázat tartalmazza a magas tisztaságú elovas vegyi összetételét.

1. táblázat. A magastisztaságú vas vegyi összetétele

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu
3,8–4,0	0,2–0,3	0,2–0,3	max 0,05	max 0,03	max 0,1	max 0,2	max 0,1

A hoállóság növeléséért ferrites gömbgrafitos vasra van szükség, amely kis mangán-, króm- és kéntartalmat feltételez. A lecsengési idő növeléséért az elovas szilíciumtartalmát is minél kisebb szinten kell tartani. A finomítás mindig szükséges, mert nagy mennyiségű folytvassal kell dolgozni, körülbelül 9000 kg-mal, a nagy mennyiséghez pedig nagyobb öntési idő társul. A lecsengési időt mindig az öntési időhöz illetve a lehülés módjához kell igazítani. A zsugorítómu szekerei öntésénél lassú lehüléssel kell számolni nemcsak nagy mérete miatt, hanem a nagy öntvényekhez társuló szárított formákért is. Szárított formákon kívül ilyen nagy méretű öntvényeket mugyantás vagy vízűveges keverékből készült formákba is lehet önteni, amely keverékek szintén a száraz fajtához tartoznak és öntés után a darabnak lassú lehülést biztosítanak. A Kolozsvári Nehézszerkezeti Gépgyárban a szekeret szárított agyagos formába öntöttük, a belső üregek kiképzéséhez szükséges magokat fenolgyantás keverékből készítettük. Az adott felszereltség mellett a gömbösítéstől a lehülésig 35–40 percre volt szükség és a lecsengési időt is legalább ennyire kellett növelni. Ez volt az egyik legnehezebb feladat. A megoldást az is nehezítette, hogy a minél magasabb ferritizálás érdekében elég nagy ferroszilícium adagolással kell dolgozni. Az elovas kis szilíciumtartalma biztosítja többek között a gömbösítő hatás növelését és a szükséges felületi feszültség fenntartását nagyobb FeSi adagolásnál is. Az olvasztó kemence bélésanyaga jobb ha bázikus, de megfelelően bizonyult a semleges vegyhatású is. Bázikus bélés jelenlétében a hematittal való finomítást is lehet a kemencében végezni, míg más esetekben az üstbe kell a hematitot adagolni. Savas vegyhatású bélés használatánál a finomítás utáni hosszabb hontartás hatására a magas hőmérsékletű elovas a

bélés anyagában levo szilíciumdioxiddal reakcióba lép és a reakció termékei folyékony salakként kavarnak a kemence fürdojében. E folyékony salaknak felületi feszültség csökkentő hatása van már csak azért is, mert savas jellege miatt gömbösítéskor többlet magnéziumot fogyaszt. Jó minőségű gömbgrafit eléréséért hosszabb hontartás esetén gömbösítés előtt ajánlatos az elovasat újból hematittal kezelni. A hoálló gömbgrafitos vas alapszöveve többnyire ferritet tartalmaz, ahogy a 4. ábrán látható. A 80% ferritet tartalmazó szekér anyaga a zsugorító folyamat alatt a ciklikus felmelegedés–lehelés folyamán átalakul teljesen ferrites gömbgrafitos vassá. A 4a. ábra a szekér mikroszövetét szemlélteti közvetlenül öntés után, a 4b. ábra egy évi működés után.



4. ábra

*A hoálló gömbgrafitos vas alapszöveve*

a – öntött állapot

b – egy év működés után

A szekér alakjának változtatásával párhuzamosan több kísérleti elegyet állítottunk elő különböző vegyi összetétellel. A 2. táblázat a gömbösítés után kapott vasak vegyi összetételét mutatja be. A gömbösítést 6% magnézium tartalmú ferroötvözzel végeztük, az utómódosítást pedig 75% szilíciumot tartalmazó ferroszilíciummal. Mindkettőből 3–4%-ot adagoltunk az 1450 C° hőmérsékletű elovasba. A 2. táblázatban látható vegyi összetételeket ugyanolyan kis szilíciumtartalmú elovasból kaptuk, míg a szilíciumtartalom növelését a ferroszilícium adagolás változtatásával értük el. Mindez a magnézium gömbösítő hatásának a szinten tartására irányult. A gömbösítést szendvics-módszerrel 1450 C° hőmérsékleten végeztük. A megszilárdult öntvény 0,6% magnéziumot és 0,4% kalciumot tartalmazott.

2. táblázat. A vizsgált öntetek vegyi összetétele

Sor-szám	Vegyi összetétel %ban							
	C	Mn	Si	S	P	Mg	Ca	Cr
1.	3,05	0,7	3,65	0,02	0,03	0,06	0,04	0,1
2.	3,15	0,5	3,85	0,02	0,02	0,05	0,04	-
3.	3,40	0,5	4,00	0,02	0,03	0,06	0,03	-
4.	3,30	0,4	4,8	0,02	0,02	0,05	0,04	0,1
5.	3,25	0,5	4,55	0,02	0,02	0,06	0,04	-
6.	3,05	0,8	5,1	0,02	0,03	0,05	0,4	-

Az 5. ábra a zsugorító szekereinek perspektivikus képét mutatja be.

A 3. táblázat a tanulmányozott öntetekből kapott gömbgrafitos vas jellemzőit tartalmazza. A kísérleti eredmények azt mutatják, hogy a gömbgrafit szemcséinek átmérete változatlan a vas szilícium tartalmának növelésével. A gömböcskék száma és az általuk elfoglalt terület enyhén no a vas szén és szilícium tartalmának növelésével, ugyanakkor a szilárdsági paraméterek csökkennek. A szilícium tartalom növelése a szakítószilárdság csökkenéséhez vezet, különösen 3,5% szilícium tartalom felett. A FeSi adagolás növelésével 4,5% szilícium tartalom mellett az előbbi technológiával 490–520 daN/mm szakítószilárdság érhető el, mely nagyobb mint a minimális 450 daN/mm, amit a szabványok a ferrites gömbgrafitos vásra előírnak. A hoállóság növeléséért szükséges 4% feletti szilícium tartalommal dolgozni. A 9. ábrán látható, hogy a 4% szilíciumot tartalmazó ferrites gömbgrafitos vas milyen nagy hoállósággal bír. Ugyanakkor megállapítást nyert az is, hogy a szilícium tartalom növelésével no a szekereknél tapasztalt meleg repedési hajlam, de ezt a hátrányt ellensúlyozni lehetett hosszabb hűlési idővel és későbbi kiveréssel.



5. ábra  
A zsugorító szeker perspektivikus képe

3. táblázat. A vizsgált öntetek jellemzői

Sor-szám	Ferrit	Perlit	A gömbgrafit átmetszése	A gömbök felülete	A gömbök száma	Szakítószilárdság daN/mm <sup>2</sup>	Keménység HB
1.	90	10	GNd <sub>3</sub> -GNd <sub>4</sub> GNd <sub>2</sub> -GNd <sub>4</sub>	GN <sub>6</sub> -GN <sub>10</sub>	GNn <sub>2</sub> -GNn <sub>3</sub> GNn <sub>2</sub> -GNn <sub>3</sub>	679	173
2.	95	5	GNd <sub>2</sub> -GNd <sub>4</sub> GNd <sub>4</sub> -GNd <sub>5</sub>	GN <sub>12</sub>	GNn <sub>4</sub> -GNn <sub>5</sub> GNn <sub>4</sub> -GNn <sub>5</sub>	568	168
3.	100	0	GNd <sub>3</sub> -GNd <sub>4</sub> GNd <sub>3</sub> -GNd <sub>4</sub>	GN <sub>12</sub>	GNn <sub>4</sub> -GNn <sub>5</sub> GNn <sub>3</sub> -GNn <sub>4</sub>	562	156
4.	95	5		GN <sub>12</sub>		538	170
5.	100	0		GN <sub>12</sub>		502	187
6.	90	10		GN <sub>12</sub>		545	181

A kísérletek eredményeképpen a galaci zsugorító szalagok acélszekereit gömbgrafitos vasból készült szekerekre cseréltük fel. Több mint 1500 tonna szekeret öntöttünk a Galaci Fémipari Kombinátban, ezzel működési idejüket három hónapról 2-3 évre hosszabbítottuk meg. A szekerek minőségének javításával a szekérré szerelendő rácsok anyagát is hoállóbbá kellett tennünk ahhoz, hogy a zsugorítómu működési idejét megnövelhessük. Ezzel párhuzamosan a zsugorítómu több más alkatrészét is hoálló gömbgrafitos vasból készítettük, így például a védofalakat vagy a 6. ábrán látható tárcsákat.



6. ábra  
Hoálló perselyek



7. ábra

Hoálló rácsok a zsugorító szekerére és hokazánokba

A 4. táblázat bemutatja a hoálló gömbgrafitos vas szilárdsági jellemzőit az azelőtt használt öntött acéllal szemben. Az öntést és a kísérleteket a Kolozsvári Nehézszerkezeti Gépgyárban végeztük.

4. táblázat. Az ötvözetek szilárdsági jellemzői

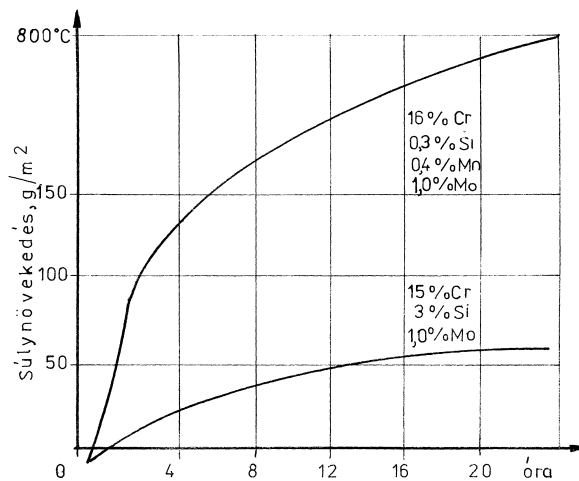
Típus	Szakítószilárdság N/m <sup>2</sup>	Folyáshatár N/m <sup>2</sup>	Nyúlás	Keménység HB
Hoálló gömbgrafitos öntöttvas	502	390	4	187
Acél OT 450-2	440	240	22	124

### Hoálló rácsok

A szekerre szerelt rácsok biztosítják a levego bejutásához és az égési gázok eltávolításához szükséges légréseket. Az üzemeltetési feltételekből adódóan a rácsok nagy honek és kopásnak vannak kitéve. Élettartamukat csökkentik a zsugorításakor keletkezett goz és gázok, valamint az elszívó ventilátor által szállított ércszemcsék koptató hatása. Ezért a rácsok új anyagát a krómötvözetekből kellett kiválasztani, amelyek megfelelő kopásállósággal, hoállósággal rendelkeznek, és szilárdságuk is a célnak megfelelő. A 6. ábra hoálló rácsokat mutat be, melyeket a zsugorítómu szekerére és a szilárd tüzelésű kazánokba szerelnek be. A rácsok anyagának meghatározásáért végzett kísérletekhez az alábbi összetételű ötvözeteket használtuk:

C: 1,7–2,5%	V: 0,1–0,3%
Si: 1,0–4,1%	Ti: 0,1–0,4%
Mn: 1,0–3,0%	Al: 0,1–0,3%
Cr: 3,0–24%	

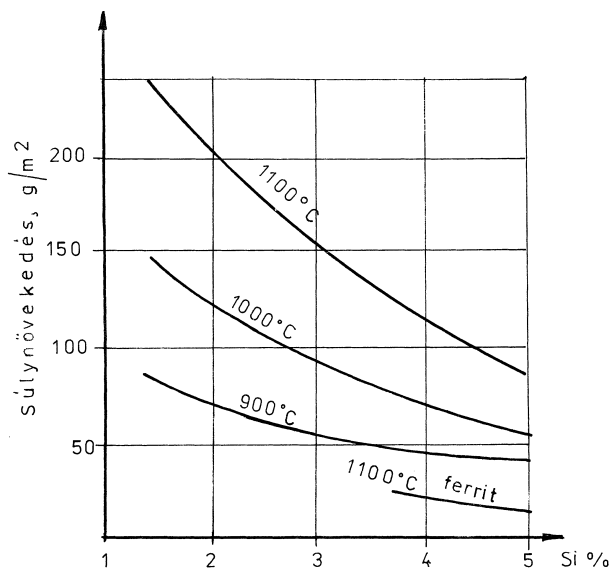
Az elvasat egy 6,3 tonnás indukciós kemencében ötvöztük, és öntés előtt az üstben módosítottuk FeSi, FeTi vagy FeV-val. Minden adag folytvassból 80 mm átméretű 20 mm hosszú rudakat öntöttünk formázó homokba. A rudakból elektroeróziós módszerrel 10 x 10 x 10 mm-es kockákat vágunk ki a koptató vizsgálatokhoz és 10 x 10 x 100 mm-es rudakat a hoállóság meghatározásához. Az ötvözetek hajlításhoz szükséges szilárdságát közvetlenül a rácsokon mértük. (1) Megvizsgáltuk a krómmal ötvözött vasak hoállósága, hajlításhoz szükséges szilárdsága, kopása és vegyi összetétele közötti összefüggéseket. A hoállóság no a fürdő ötvözőelem (Cr, Ti, V) tartalmával, különösen akkor, ha a szilícium tartalom meghaladja a 2%-ot. Kis szilícium tartalom mellett nem beszélhetünk hoálló öntvényről, még akkor sem, ha az magasan ötvözött. (8. ábra). A hoállóság becsléséért levego jelenlétében hevítettük a próbákat. A 8. ábrán látható, hogy a felületi oxidáció időben változik és a súlygyarapodás kisebb a nagyobb mennyiségű szilíciumot tartalmazó mintánál. Nagy krómtartalom mellett a hoállóság javul a szilícium tartalom növekedésével.



8. ábra

A hevítési idő és a súlynövekedés közti összefüggés

A 9. ábra szemlélteti a súlygyarapodás és a szilícium tartalom közötti összefüggést 900–1100 °C közötti hőmérsékleten való hevítésnél mért felületi oxidáció esetén olyan ötvözetnél, amelynek krómtartalma 15%. A hajlítószilárdság fokozatosan csökken, a repedési hajlam pedig no a vas króm- és szilícium tartalmának növekedésével. A mangántartalom 2,0%-ig való növelésével a hajlítószilárdság no, anélkül, hogy a hoállóság lényegesen csökkenne. Ennél nagyobb mangántartalomnál a hoállóság jelentősen csökken.



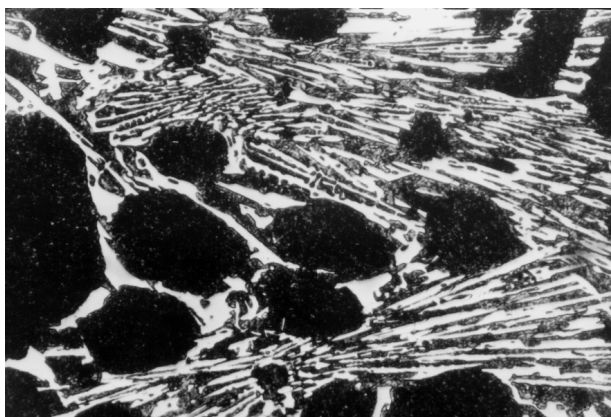
9. ábra

A felületi oxidáció általi súlynövekedés és a vas szilíciumtartalma közötti összefüggés

A kopási vizsgálatok eredményei egyértelműen igazolják azt az ismert tényt, hogy a krómtartalom emelése a kopásállóságot növeli. (2) A kopásnak kitett rácsok élettartama a krómtartalomtól kívül függ a felületen képződött oxidréteg keménységétől is. Ha az oxidréteg jól tapad, nem pattogzik le és a dörzsölésnek ellenáll, akkor a rács élettartama nagyobb, mint amikor kevesebb a pörkképződés, de az könnyen ledörzsölhető. Nagyobb szilícium tartalom esetén jól tapadó, kemény és kisebb mennyiségű oxidréteg keletkezik. Kis szilícium tartalomnál laza, lepattogzó oxidréteg alakul ki. Valószínű, hogy a szilícium oxigénnel szembeni kisebb affinitása fékezően hat a vas felületi oxidációjára. Mivel a mangán affinitása az oxigénnel szemben nagyobb, magasabb mangántartalom esetén vastagabb oxidréteg keletkezik és az ötvény hoállósága csökken.

A kopási vizsgálatokat M5003 kovahomokkal dörzsgépen határoztuk meg. (2) Az ötvözet szilícium tartalmának növekedésével a kopás is csökken. Tehát nemcsak a hoállóság, hanem a kopásállóság növeléséhez is magasabb szilícium tartalomra van szükség egy krómmal (15–20%) ötvözött öntöttvasnál. A mangántartalmat illetően kisebb kopást értünk el az 1–2% mangánt tartalmazó ötvözeteknél. A krómos vasak alapötvözetében

kemény krómkarbidokat találunk és ezért logikus, hogy a krómtartalom növelése a kopás csökkenéséhez vezet. (10. ábra), mert ezzel arányosan nő a krómkarbidok mennyisége is. A gazdasági érvek is beleszólnak a hoálló krómötvözetek krómtartalmának meghatározásába. Az olvasztás során nagy a krómvesztés, több mint 15% króm távozik a salakba. Ezért a krómmal ötvözött öntöttvasak ritkán tartalmaznak 18%-nál nagyobb mennyiségű krómot.



10. ábra

*A 16% Cr, 2,8% Si tartalmú krómötvözet alapszöve*

Kísérleteink eredményeképpen több ezer tonnányi hoálló rácsot gyártottak a Kolozsvári Nehézipari Gyárban a Galacon működő zsugorítómu nek. A 15–18% krómot tartalmazó ötvözetbol készült rácsok 3 évig tartották működöképesen a zsugorítót. A világpiacon alkalmazott garancia 2 év működési ido.

A fent meghatározott technológiákkal a zsugorítómu működési idejének többszörös megnövelése volt lehetséges a honek kített alkatrészek anyagának és alakjának megváltoztatásával. A konvejjor szekerei anyagának a hoálló gombgrafitos vas a megfelelőbb, a rácsoknál a krómötvözetek bizonyultak a legjobbnak.

## Irodalom

- [1] Szocs E., Szocs S., Chira L., Papp J., Abrudán D.: Încercările fontelor refractare cu crom. Muszaki Tudományos Konferencia, Kolozsvár, C.U.G., 1989. október.
- [2] Szocs K., Márton L., Szocs I., Giurgea F.: A krómmal ötvözött hoálló vasöntvények élettartamát befolyásoló tényezök. Kohászat, Budapest, 128, 1995, 2–3, 67–70.
- [3] Szocs Katalin: Az öntöttvas finomítása tégelyes indukciós kemencében. Kohászat, Budapest, 127, 1994, nr. 6, 241–245.
- [4] Dénes É., Kovács M.: A comprehensiv study of oxide layers formed during the elaboration of low alloyed and electrotechnical steel sheets. Országos Anyagtudományi Konferencia, Balatonfüred, 2001. okt. 14–17.