

BACSKAI ANTAL

## Szénőrlő malmok verőlapjainak törésvizsgálata

**Egy szénportüzelésű hőerőmű szénőrlő malmaiban a beszerelést követő próba-járatás során már akkor nagy számban törtek a verőlapok, amikor az őrlés még meg sem indult. Az erőmű természetesen kérte annak a megállapítását, hogy a káresemény milyen okokkal magyarázható.\***

### 1. A verőlapgyártás követelményei

Az öntött verőlapok anyagminősége az MSZ 8273 szerinti ÖX 100 CrMo 6 volt, amelynek a vegyi összetételre vonatkozó előírása: C=0,8-1,2%; Si=0,5-1,0%; Mn=0,4-0,8%; Cr=5,0-6,0% és Mo=0,8-1,2%.

A szabvány szerint a keménység edzett és feszültségmentesített állapotban 64 HRC, edzett és megeresztett állapotban 53 HRC. Az edzés ajánlott hőmérséklete 920-950 °C, hűtőközege áramló levegő. A megeresztés hőmérséklete 200-600 °C a méret, az alak és a felhasználási igény függvényében.

A felhasználói irányelveket marketing stílusban fogalmazták meg a szabvány alkotói: „Nagy kopásállóságú, edzett és megeresztett állapotban szívós ötvözet. Ütészzerű igénybevételnek jól ellenáll. Szén- és klinkermalmok pánccelzáthoz, szórólapátok, őrlő- és aprítógépek kopó alkatrészeihez ajánlott”.

A szabvány optimizmust sugall a felhasználónak. Némi pesszimizmussal viszont kijelenthető, hogy ilyen anyagú, ala-

kú és méretű öntvényeknél akármilyen hőkezelési paraméterek szerint módosítják a szövetszerkezetet a szabvány ajánlása és a gyakorlati tapasztalatok szerint, a verőlap anyaga igazán szívós nem lehet az összetétele és primér karbidszerkezete következtében. Ezzel szorosan összefügg az a következtetés is, hogy az „ütészzerű igénybevételnek jól ellenáll” ajánlás megtévesztő.

Egy öntvénynek sokféle lehet a szövetszerkezete, felületminősége, szabványok szerint megengedett és meg nem engedett belső hibarendszere (pl. zsugorodási repedések), maradó (öntési) és üzemi feszültségekből eredő, alakjával, méretével, szerelési módjával is összefüggő feszültségállapota.

Mindezekkel kölcsönhatásban igen sokféle lehet az „ütészzerű igénybevétel” is, s nem mindegy, hogy az üzemeleti, beszerelési feszültségekkel is terhelt állapotban, vagy más körülmények között éri a verőlapot.

A jó kopásállóságként jelölt felhasználói alapkövetelmény, s az azzal alapvetően összefüggő gazdaságos élettartam legszorosabb korrelációt a keménységgel és a szívóssággal mutat, de ezt a két anyagjellem-

zót nagyon nehéz együtt optimalizálni. Az erőmű nem is írt elő hőkezelési módot és keménységet, hanem a már említett vonatkozó szabvány értelmében, edzett és megeresztett állapotot feltételezve az öntődére bízta a hőkezelés módját.

A szállítási állapotban mutatott törékenységet tapasztalati alapon egy ejtőpróbával vizsgálták. Ezt az ejtőpróbát a káreseményt követően is elvégezték a gyártó és a felhasználó által közösen kiválasztott mintadarabokon. Azok mind megfelelték, így a gyártó véltlennek tartotta magát a vita első szakaszában. A felhasználó viszont ennek ellenére ragaszkodott a szakintézmény által végzett komplex kárelemző vizsgálathoz.

### 2. Kárelemző vizsgálatok

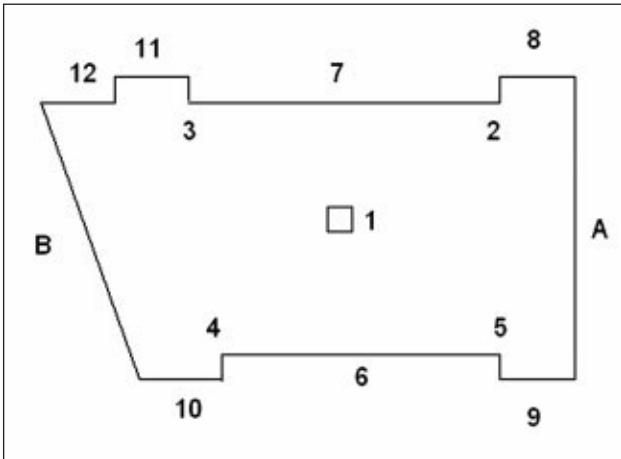
A törések okainak meghatározásához a következő vizsgálati program készült:

- a gyártási körülmények felülvizsgálata;
- a felhasználó szerelési, beépítési, beüzemelési körülményeinek elemzése;
- a felhasználó által kiválasztott 22 db verőlap és 11 db verőlap-törődék komplex laboratóriumi vizsgálata, amelynek a műveletei:
  - makroszkópos vizsgálat;
  - anyagazonosító vegyelemzés két töredéken;
  - Vickers keménységmérések négy töredék öntési és töretfelületein;
  - fémmikroszkópos vizsgálat öt töredék keresztmetszeti csiszolatán (helykiválasztási szempont volt a szabad szemmel is látható belső öntési hibarendszer, valamint a melegen vágott szerelési oldal-felület);
  - mágneses repedésvizsgálat valamennyi verőlapmintán és töredéadarabon;
  - izotópos radiográfiai vizsgálat valamennyi verőlapon.

A gyártási körülmények elemzése során az körvonalazódott, hogy az öntőde nem

**Bacskai Antal** 1966-ban szerzett gépészmérnöki oklevelet a miskolci Nehézipari Műszaki Egyetemen, majd 1971-ben hegesztő szakmérnöki oklevelet a Budapesti Műszaki Egyetemen. 1972 óta bejegyzett ipari szakértő, 1985-től UNIDO és HUNKOR szakértő. 26 évig dolgozott a Vasipari Kutató Intézetben, kilenc évig a Műszaki Biztonsági Főfelügyeletnél, öt évig a CORROCONT Kft.-nél. Másodállásban 12 évig volt egyetemi és főiskolai oktató. Több mint 120 cikk, előadás szerzője a hőkezelés, hegesztés, anyagvizsgálat és korrózió témakörökben. Szakterületei: kohászati és gépipari anyagvizsgálat, alkalmazott fémtan, állapotértékelések, kárelemzések, nyomástartó létesítmények, tárolótartályok vizsgálata, korróziós diagnosztika.

\* A cikk korábbi szakértői vizsgálat eredményét ismerteti, ma is aktuális megállapításai alapján tartottuk célszerűnek a közlését.



■ 1. ábra. Az öntvény körvonalrajza

mérte fel reálisan, milyen kockázatos termék az ilyen ötvözöttségű (figyelemmel elsősorban a nagy karbon- és krómtartalomra) acélöntvény az erős dinamikai igénybevételt jelentő szénőrlő malomban. Megelégtek az ejtőpróbás minősítéssel, pedig az őrlési fárasztás még a mikrorepedéseket is hatékony élettartam-csökkentőként „aktivizálja”.

A minőség-ellenőrzésbe feltétlen be kellett volna iktatni a mágneses repedésvizsgálatot, s a belső hibák figyelemmel kísérésére a szűrőpróbaszerű radiográfiát.

A gyártóműben a következő műveletek során keletkezhetnek repedések az ilyen légedzett acélöntvényben:

- az öntvény dermedésekor;
- az öntési hibák köszörüléssel, hegesztéssel javításakor;
- a felöntések levágásakor;
- az edzési hőmérsékletre történő nem megfelelő sebességű felhevítéskor;
- az edzés hűtési fázisában;

– a megeresztési művelet felhevítési és lehűtési szakaszában.

A felsorolt elvi repedési okok között kölcsönhatások is fennálltak. A felöntés levágásakor keletkezett repedés biztos, hogy nagyobb repedéssé nő, sőt törést okozhat már a hőkezelési műveletek során ébredő feszültségek hatására.

A felöntések eltávolításakor keletkezett durva vágási felület is arra utalt, hogy nem reálisan becsülték az abból eredő repedés kockázatát.

Az erőmű a beszerelés során alak- és méretmódosítás céljából melegvágást és durva köszörülési műveleteket végzett, valamint kiegyensúlyozáskor felrakó hegesztést is alkalmazott. Mindezek a körülmények nagymértékben növelték a különböző méretű repedések keletkezésének valószínűségét. Jellemző, hogy a 11. számú mintadarabról a vizsgálati rakosgatás során leesett a kiegyenlítéshez felhegesztett rész, mert varrata ki volt repedve az öntvényből.

A laboratóriumi makroszkópos vizsgálatok során 11 db, különböző verőlapokból származó öntvénytöredék felületét ellenőrizve 9 db belsejében voltak szabad szemmel is észrevehető belső öntési hibák, üregek, repedések. Ezek az eredmények irányadók voltak a fémmikroszkópos csiszolatok kimunkálásához is.

A felületi vágási, köszörülési helyek

(akár öntödei, akár erőművi) szinte mind repedésgyanúsak voltak.

A vegyi összetétel ellenőrzése három, véletlenszerűen kiválasztott töredékdarabon történt. Mindhárom darab összetétele megfelelt a szabványosnak.

A 22 db verőlapon, valamint néhány nagyobb töredéken fluoreszcens jelzőszuszpenzióval mágneses repedésvizsgálatot végeztünk. Nem mutatkozott repedés az 1, 7, 13, 14, 15, 16, 17 és 21 számjelzésű verőlapokban, a többiekben viszont különböző helyeken voltak repedések, amelyek részben egyértelműen öntészeti eredetűnek minősíthetők, részben a meleg vágási felületeknél jelentkeztek. A repedések számát, helyét (a verőlap 1. ábrán látható felületi képén szemléltetve) az 1. táblázat tartalmazza. A vizsgálat nem terjedt ki az A és B véglapokra. Amelyik számjelzett felületen két, egymástól viszonylag távoli repedés is volt, a felület számjelzése kétszer szerepel a táblázatban (pl. 8, 8).

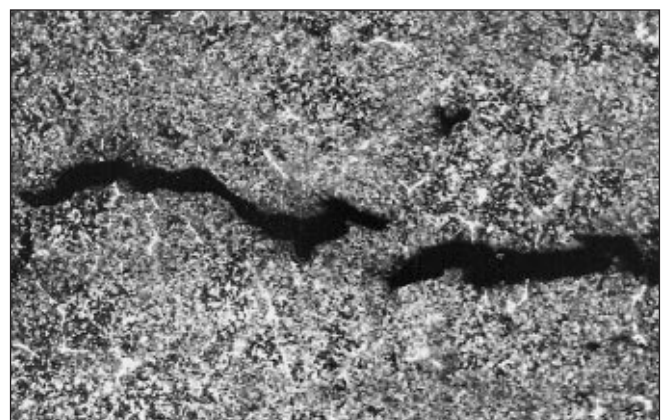
A mágneses repedésvizsgálat eredménye a következőkben összegezhető:

- a 14 darab felületén repedt öntvény közül 11 darab más helyen is repedt volt;
- a leggyakoribb repedési helyek a kiegyenlítő tömeg felhegesztésének helyei (1) és a melegen vágott felületek voltak;
- egyértelműen gyártóművi eredetűek a 2, 3, 4, 5 és 6 számjelű felületeken talált repedések;
- az üzemi igénybevétel szempontjából különösen veszélyesek ezek közül az 1, 2 és 5 jelű helyeken keletkezett repedések.

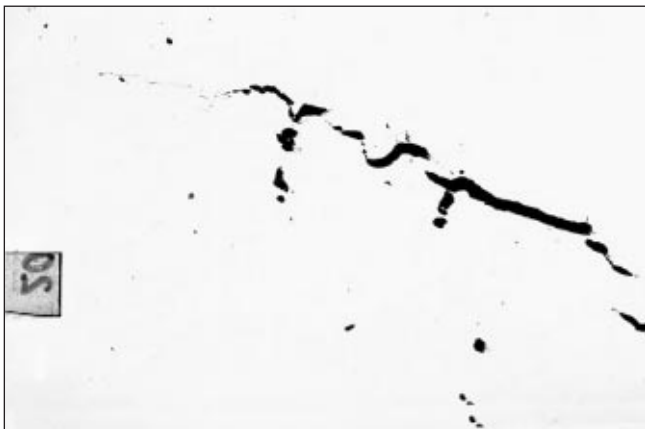
Meg kell említeni azt is, hogy az ilyen durva felületi érdességű acélöntvényeken a mágneses repedésvizsgálat érzékenységi szintjénél kisebb repedések is lehetnek,



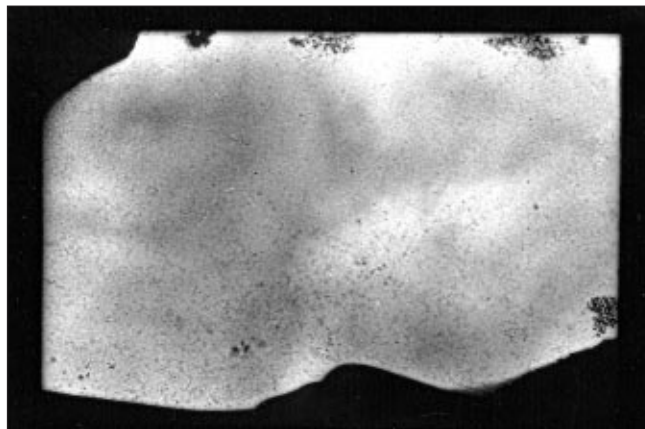
■ 2.a. ábra. Az L jelű öntvény minta finomszemcsés, perlités szövetszerkezete primer karbidhálóval, öntészeti melegrepedésekkel és az összetöréskor keletkezett repedésekkel (N=50x)



■ 2.b. ábra. Az L jelű öntvény minta finomszemcsés, perlités szövetszerkezete primer karbidhálóval, öntészeti melegrepedésekkel és az összetöréskor keletkezett repedésekkel (N=50x)



■ **3. ábra.** Az L jelű öntvényminta egyik melegrepedésének képe maratlan csiszolaton (N=50x)



■ **4. ábra.** A B jelű öntvénydarab felöntésének levágásánál sok mikrorepedés keletkezett (maratlan csiszolat, N=2,5x)

**1. táblázat.** A felületek számjelzése

Az öntvény számjele	Repedési helyek (vázlat szerint)	Megjegyzés
2	1, 2	
3	1	
4	1, 1, 8, 11	
5	2, 3, 5	
6	1, 1, 3, 7, 7, 8, 8, 11	8 és 11 melegen vágott
8	4, 6, 10	
9	2, 3, 6, 7, 8, 11, 11, 12	
10	1, 7, 9, 10	
11	10	
12	9	
18	1, 1, 9, 9, 10, 10	
19	1, 10	A + súly levált
20	5, 9, 10	
22	1, 11	

amelyek az üzemeltetési dinamikus hatások és a fáradás során komoly élettartamcsökkentő tényezők.

A megvizsgált töredékdarabokon szintén mutatkoztak repedések, de azokról nem lehetett egyértelműen megállapítani, hogy

egyezni. Ez könnyítette volna havária esetén a felelősség tisztázását is.

A radiográfiai vizsgálatok az MSZ 0536.3505/1,2-80 szabvány szerint <sup>192</sup>Ir izotóppal (Fuji 100) történtek mind a 22 verőlap mintadarabon.

öntési eredetűek vagy a havária során keletkeztek.

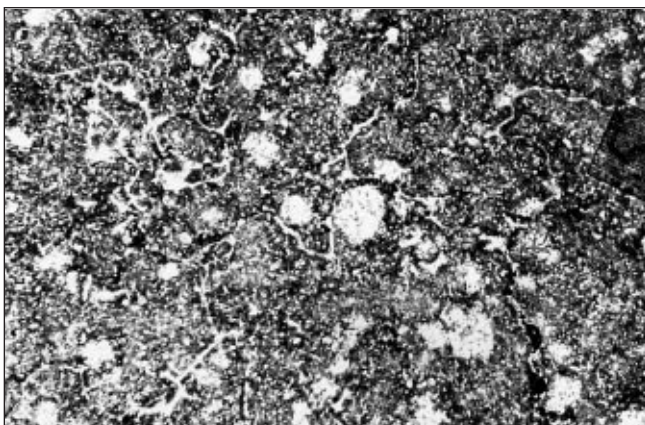
A verőlapok törése csupán a repedés jellegű hibák miatt is szinte elkerülhetetlen volt. Érdeemes lett volna tehát mágneses repedésvizsgálattal is ellenőrzött verőlapok szállításában meg-

Mindegyik öntvény radiográfiai képét 2-2 filmre lehetett rögzíteni. A képek minősége, szintén a nagy méret miatt, az öntvény hossz tengelyén a szélek felé haladva változó volt, így a kisebb hibákat kevésbé lehetett érzékelni.

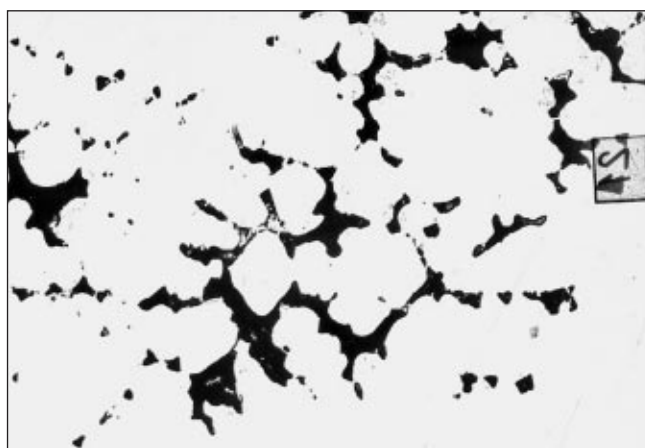
A radiográfiai felvételeket értékelve három jellegzetes hibatípus fordult elő a legtöbb öntvényben változó helyi, mennyiségi és méreteloszlásban:

- sok nagy „faágszerű” öntési melegrepedés (MSZ-05 36. 3505/2-80 E típus);
- különböző méretű gázzárványok, szívódási üregek (MSZ-05 36.3505/2- 80 A és C típus);
- felületi repedések (MSZ-05 36 3505/2-80 E típus).

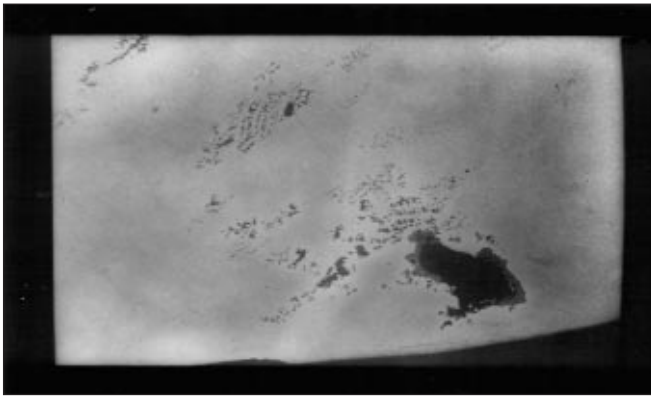
Az első két említett hibatípus vonatkozásában megfigyelhető a felöntési helyekhez igazodó szabályszerűség, ami az ilyen alakú és méretű öntvényeknél természetes. A harmadik hibatípus – a felületi, 5–20 mm mélységű repedés – a felöntés levágásainak a helyén volt a leggyakoribb.



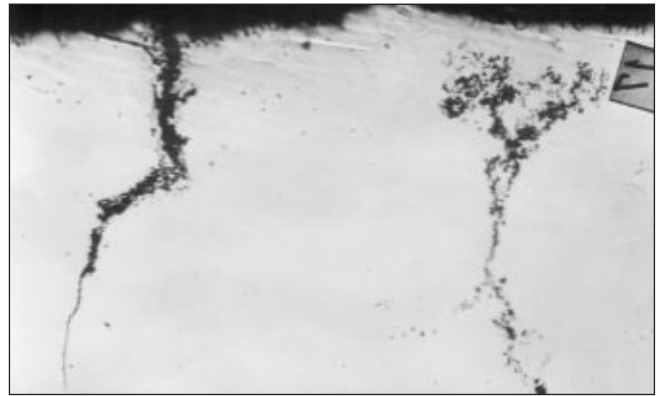
■ **5. ábra.** A B jelű öntvénydarab szövetszerkezete közepes szemcse-nagyságú, karbidhálós perlitcsomókkal (N=50x)



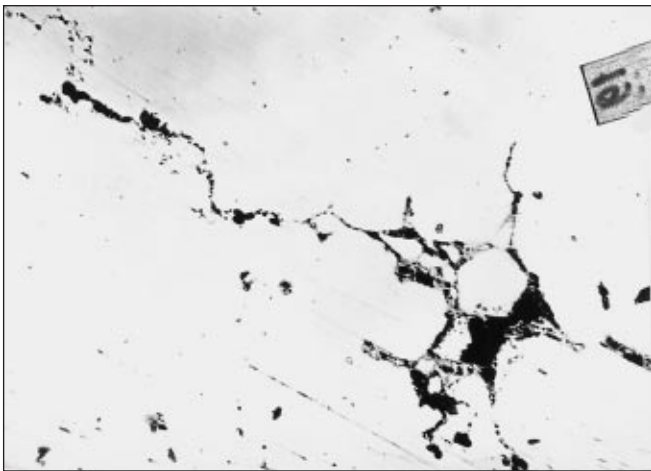
■ **6. ábra.** A B jelű öntvénydarab melegrepedései (N=50x, maratlan)



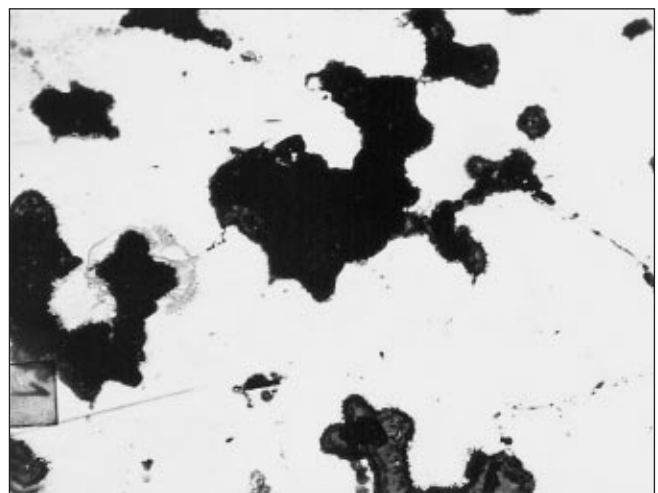
■ **7. ábra.** A C jelű öntvénydarabban található lunkerek és melegrepedések (N=2,5x, maratlan)



■ **8. ábra.** Repedések a vágási felületnél a C jelű öntvénydarabban (N=200x, maratlan)



■ **9.a. ábra.** Belső repedések részletei a C jelű öntvénydarabban (N=50x, maratlan)



■ **9.b. ábra.** Lunkerek a C jelű öntvénydarabban (N=100, maratlan)

A hibák nagysága és gyakorisága, valamint egy-egy öntvényben többféle hibatípus előfordulása alapján valamennyi öntvény az említett szabvány szerint R5 radiológiai hibafokozattal minősíthető (felhasználásra alkalmatlan darabok). Ezen túlmenően is különösen kedvezőtlen a melegrepedések nagy száma és mérete, mivel az öntvény térfogatának jelentős részét behálózták. Ilyen alkatrészeket dinamikus és fárasztó igénybevételre nem lett volna szabad beszerezni.

Fém-mikroszkópos vizsgálatra a makroszkópos vizsgálat alapján 5 öntvénytörődék csiszolatát jelölték ki. Az öntvényekben elfoglalt eredeti helyzetet nem lehetett rekonstruálni egyik törödéknél sem.

A csiszolatokat különféle nagyításoknál, maratlan és maratott állapotban vizsgálva, a következő megállapításokat lehetett megfogalmazni.

Az L jelű darab (amelynek keménysége jóval kisebb volt, mint más ellenőrzött daraboké, s kisebb volt a szabványos alsó határnál is) szövete finomszemcsés, perlitese, s vékonyak a szemcsehatár menti karbidhá-

lók (2.a. és 2.b. ábra). Ennek az öntvénynek más volt a primer szövetszerkezete, s nagyobb volt a megeresztési hőmérséklete, mint a többieké. A darab belsejében öntészeti eredetű melegrepedések is vannak (2. és 3. ábra), amelyekhez csatlakoznak az összetöréskor keletkezett repedések, s amelyek a képeken hajszálvékonyak.

A B jelű darab nagy valószínűséggel egy felöntés levágási helyének közeléből származik. A vágási felületnél sok mikrorepedés keletkezett (4. ábra). Szövetszerkezete közepes szemcsefinomságú, karbidhálós (5. ábra), perlitcsomókkal és inter-kristallin öntési melegrepedésekkel (6. ábra), amelyek hossza kb. 5 mm.

A C jelű darab valószínűleg szintén egy felöntés levágási helyének környezetéből származik. Kis nagyítású keresztmetszeti képe a 7. ábrán látható nagy lunkerral és sok-sok öntészeti melegrepedéssel. Nagyobb nagyítású mikroszkópi fényképek szemléltetik a finomabb repedéseket (8. ábra) és a belső repedések részleteit (9.a. és 9.b. ábra). Szinte az egész csiszolt

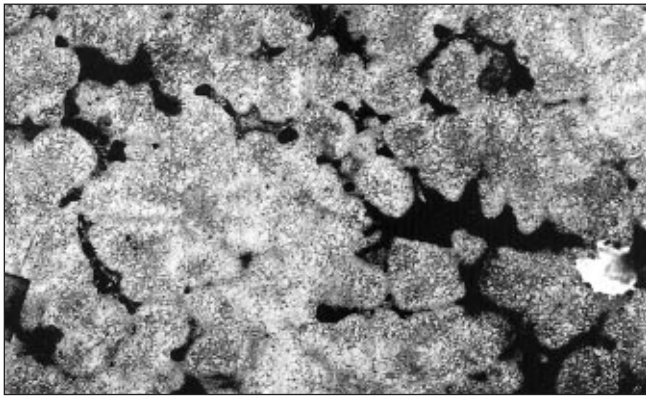
felület tele van melegrepedésekkel.

A D jelű darab csiszolatán is ugyanazon szövetszerkezeti jellemzők mutatkoztak, mint az előző darabok csiszolatán. Ebben az öntvényben sok volt a gázhólyag. Megeresztési hőmérséklete viszonylag alacsony lehetett (10. ábra).

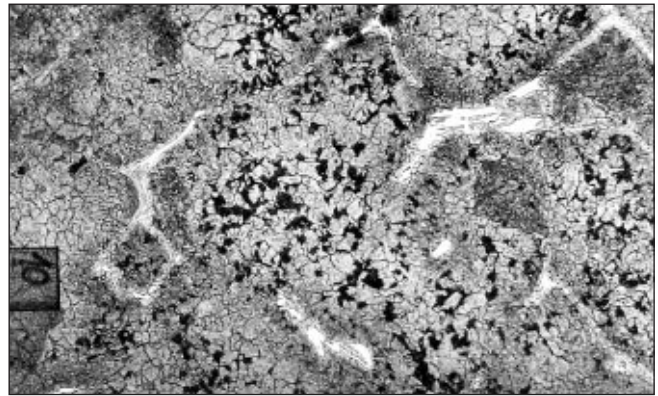
A H jelű darab szövetszerkezetében részleges megeresztésről tanúskodnak a perlitcsomók és a viszonylag vastag primer karbidháló (11. ábra). A keménység 554-610 HV30 között változott. A melevágási felületnél berepedezett ez az öntvény is (12. ábra), s a belsejében sok az öntészeti melegrepedés (13. ábra).

A fém-mikroszkópos vizsgálatok eredményeit összefoglalva megállapíthatjuk, hogy:

- az öt próbatest különféle szövetszerkezetű, amiből primer szövetszerkezetük, hőkezelésük különbözőségére lehet következtetni
- gyakoriak a 2–3 mm mély felületi repedések, elsősorban a melevágási felületeknél;
- az öntvények belsejében sok a melegrepedés, s gázhólyagok is előfordulnak;



10. ábra. A D jelű öntvénydarab belső hibái (N=50x)



11. ábra. A H jelű öntvény jellemző szövetszerkezete (N=200x)



12. ábra. A H jelű öntvény repedése vágási felületnél (N=50x, maratlan)

– a fémmikroszkópos vizsgálatok eredményei összhangban vannak más vizsgálatok eredményeivel, s megerősítik azokat.

Keménységmérés (HV30) először négy töredék öntési felületén történt négy-négy ponton, majd két töredék keresztmetszeti csiszolatán 15-15 ponton mértek. A mérési eredmények viszonylag nagy szórást mutattak (2. táblázat), ami az ÖX 100

CrMo6 acélminőség öntött szövetét ismerve, és az öntvények méretét is figyelembe véve, természetes.

Mivel a két vizsgált csiszolaton (H és L) nagy volt a keménységek különbsége, az egyik (H) – amelyiknek keresztmetszeti (csiszolati) keménysége hasonló volt az öntött felületen mért keménységhez – 400 °C/2 óra/levegő hőkezeléssel megeresztést kapott, majd újabb keménységmérés következett (HV) 15 ponton. Az eredmények azt igazolják, hogy a keménységet még Vickers-gyémántokkal történő méréskor is alapvetően meghatározza a primer karbidháló.

A 2. táblázatban szereplő HRC értékek az MI 15191 alapján becsültek, mert ilyen hibás szövetszerkezetekben a HRC mérés nagyobb terhelő ereje nagyon veszélyezteti a gyémántot.

A keménységmérési eredmények összefoglaló értékelése:

- az ellenőrző mérésre kiválasztott darabok keménysége egy kivétellel megfelelt a szabványnak;
- az egyes darabok keménysége jelentős mértékben eltérő, így feltételezhető, hogy többféle hőkezelési állapotú és primer karbid szerkezetű öntvény volt a szállítmányokban;

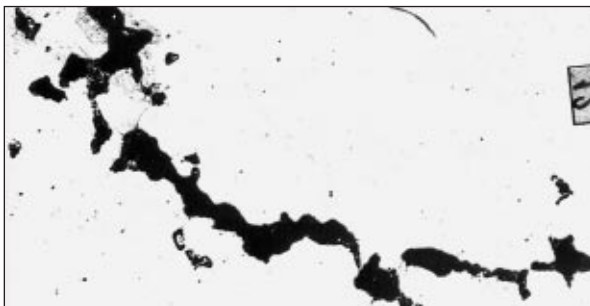
– a keménységet alapvetően a primer karbidháló határozza meg, a hőkezelés valószínűleg javítja a szívósságot.

### 3. Összefoglalás

A szénalmi havária okainak vizsgálatához kiválasztott 22 db verőlap és 11 db töredék roncsolásmentes és roncsolásos laboratóriumi vizsgálata során a következő eredmények rajzolódtak ki:

- három minta ellenőrző vegyelemzése alapján az anyagminőség valóban ÖX 100 CrMo6;
- az egyes mintadarabok keménysége jelentős mértékben eltérő, azaz többféle hőkezelési állapotú és primer karbid szerkezetű öntvény szerepel a vizsgált mintákban is;
- ezt bizonyítják a fémmikroszkópos vizsgálatok eredményei is;
- a radiográfiai vizsgálat sok nagyméretű melegrepedést, melegvágásból eredő repedést, s ezek mellett sok különböző méretű és eloszlású gázzárvány üreget is megmutatott a verőlap öntvényekben.

A minták által képviselt öntött verőlapok nem alkalmasak a szénalmok erős dinamikus és fásztó igénybevételeinek elviselésére.



13. ábra. A H jelű öntvény egyik belső melegrepedése (N=50x, maratlan)

2. táblázat. Az öntvénytöredékeken mért keménység értékei

Töredék jele	Keménység szélső értékei		Megjegyzés
	HV30	HRC	
1.	644 - 741	57,5 - 61,8	felületen
2.	700	60,1	felületen
3.	700 - 710	60,1 - 60,5	felületen
4.	562 - 652	53,5 - 57,9	felületen
H	554 - 610	52,6 - 55,7	keresztmetszetben
HK	550 - 618	52,3 - 56,1	keresztmetszetben hőkezelés után
L	331 - 402	33,4 - 41,0	keresztmetszetben