

Az öregítés hatása a 9–12% Cr-tartalmú acélok tulajdonságaira

Rózsavölgyi Zsolt*

Az energetikai berendezések hatékonyságának javítása elsődleges gazdasági szempont. A hatásfok javításának egyik módja, hogy növeljük a hőbevezetés átlaghőmérsékletét. Nagy nyomást, túlhevítést és utóhevítést alkalmazva jelentősen megnövelhető a körfolyamat hatásfoka, az energiatermelő technológia lényeges megváltoztatása nélkül. A hőmérséklet növelésének felső határát a szerkezeti anyag tulajdonságai határozzák meg.

A szuperkritikus gőzerőművekben a gőznyomás 280 bar, a frissgőz hőmérséklete 580 °C, az újrahevített gőz hőmérséklete 600 °C. Ezekkel a paraméterekkel 45%-os hatásfok érhető el. A fejlődés következő lépésefokát az ultraszuperkritikus gőzerőművek jelentik, ahol a gőz paraméterei: 340 bar / 650 °C / 670 °C. Így 48–50%-os hatásfok is elérhető [1].

Az erőművi anyagoknak magas hőmérsékleten is korrózió- és reveálólóknak, valamint megfelelő szilárdságúknak kell lenniük. A szigorú tartamszilárdsági paramétereket az erőmű tervezett 200 000 h élettartama indokolja. Ezek a követelmények elsősorban a belső nyomásnak kitett szerkezetek hőálló anyagaira és a nagy fordulatszámú turbina anyagaira vonatkoznak. A hegeszthetőség és az alakváltozó képesség is fontos követelmények, főleg a kazáncsővek esetében.

Az ausztenites anyagok 600 °C felett is üzemeltethetők, de igen nagy hátrányuk a gyenge hővezetőképesség és a nagy hőtágulási együttható. Ez nagyobb hőfeszültségeket ébreszt, így csökken a szilárdság és a fátáradással szembeni ellenállás. Gazdasági szempontból további hátrányt jelent magas árak. Alkalmazásuk tehát csak ott indokolt, ahol kizárólag csak ilyen típusú acélok használhatók fel (pl.: túlhevítő csőki-gyók).

Ezért az elmúlt évtizedben a kutatások a 9–12% Cr-tartalmú ferrites–martenzites acélokra irányultak [2]. Ezeket eleinte 550 °C alatt lehetett használni, de az új összetételeknek és hőkezelésnek köszönhetően már 600–620 °C-on is felhasználhatók. Alkalmazásuk gazdaságilag is előnyösebb, mint az ausztenites acéloké, termikus és mechanikai tulajdonságaik az adott tartományban jobbak. A közeljövőben ezeket az acélokat alkalmazhatják gőzturbina forgórészek és lapátok, kazáncsővek, erőművi ötvények anyagaiként.

Ilyen új fejlesztésű acél például az NF12, P92 és HCM–12A típusok, melyeket elsősorban kazánokba építenek be, a HR1100 és HR1200 turbinarotor anyagok és a TAF650 típusú turbinalapát acél [3].

A Cr-ötvözésű acélok jellemzői

A 9–12% közötti króm-tartalmú acélokat félig ferrites acéloknak nevezik. Ezek az acélok edzhetők és nemesíthetők. A króm biztosítja a hőállóságot, a jó korrózió- és reveálóságot.

A molibdén nemcsak a kúszásállóságot növeli, hanem javítja az acél szívósságát és hegeszthetőségét, valamint csökkenti ridegedési és ridegtörési hajlamát. A vas térrácsába szubsztitúciósan épül be, így torzítja az alapmátrixot. Szilárd oldat szilárdító hatású, karbidjai kiválósosan keményítik az acélt.

A volfrám hatása megegyezik a molibdénével, azonban maximum 2% molibdén–egyenértéknyit (Mo%+0,5W%) ötvöznek az acélba, mert magas hőmérsékleten, hosszabb üzemidő után a vassal intermetallikus vegyületet alkot, mely jelentősen rontja a szilárdsági tulajdonságokat.

Az acélok karbontartalma alacsony, 0,1% vagy ez alatti. Nióbbium- és

volfrám-stabilizálással elkerülhető a krómkarbidok keletkezése a hőkezelés során. A szilárdság, a hő- és korrózióállóság szempontjából az a jó, ha a szemcséken belül a króm eloszlása egyenletes, nincsenek dúsulások.

A vanádium erős karbidképző, az acélban termikusan stabil, finoman diszpergált karbidokat és karbonitrideket képez. Jelentősen javítja a kúszásállóságot.

A ferrites acélok magas hőmérsékletű szilárdságát a szilárd oldaton kívül elsősorban a karbidfázisok típusa és diszperziója befolyásolja. A nagyobb karbidok ($M_{23}C_6$, M_7C_3) inkább a szemcsehatárokra válnak ki. Általában az M_2C összetételű karbidok, amelyek szekunder keményedéshez vezetnek, finom részecskéként válnak ki a szemcsén belül. A finom eloszlású MX karbonitridek és -boridok is a ferrit szemcsén belül, a diszlokációk környezetében válnak ki.

Kis mennyiségű alumínium ötvözése szemcsefinomító hatású.

A nitrogén jól oldódik a fémekben, erősen növeli az acél átmeneti hőmérsékletét, viszont az MX típusú nitrid kiválások szilárdítják az acélt.

Hőkezelés

A ferrites acélok mechanikai tulajdonságait az alapszövet jellemző szilárdsága, illetve az alakváltozás során a kiválások és az alapszövet közötti kölcsönhatás határozza meg.

A 9–12% Cr-tartalmú acélok hőkezelése normalizálásból és megeresztésből áll.

A normalizálás során 1040–1090 °C-on az ausztenitben a karbidok nagy része feloldódik, a maradék karbidok (V_4C_3 , NbC) és boridok (ZrB_2) finomítják az ausztenit szemcséket. Levegőn hűtve a magas króm-tartalom miatt kb. 100 mm-es falvastagságig martenzites szövetszerkezet alakul ki. A megeresztés során (730–780 °C-os, min. 1 óras hőtartás) a martenzit „megeresztett” ferrites alapszövevé alakul át [3]. Az $M_{23}C_6$ és M_7C_3 összetételű karbidok a szemcsehatáron, míg a finom MX karbonitridek és -boridok a ferrit szemcsén belül, a diszlokációk környezetében válnak ki. Apró, finom eloszlású karbidokra kell törekedni, így javíthatók a szilárdsági tulajdonságok.

Az A_{c1} hőmérséklethez közeli megeresztés alacsonyabb szilárdsági jellemzőket ad, de az acél hosszú idejű tartamszilárdsági jellemzői jobbak lesznek, mintha 30–50 °C-kal alacsonyabb hőmérsékleten, ugyanannyi ideig hőkezelték volna.

A normalizálás során elért keménység a karbontartalom függvénye.

Az új acélok M_s hőmérséklete magasabb, mint a régebbi típusoké.

Szövetszerkezeti változások az öregedés során

Az ötvözetek magas hőmérsékleten mutatott tulajdonságait, a kúszási és a fátáradási jellemzőket az alapszövet felépítése és a szövetszerkezetben lejátszódó változások határozzák meg.

Az öregedés során változhat a kivált fázisok mérete, összetétele és eloszlása, fázisváltások léphetnek fel, illetve új fázisok keletkezhetnek.

Az igénybevétel során a diszperz kiválások koagulálnak, átalakulnak, az instabil kiválások stabilá válnak, a szemcse oldott ötvözőtartalma csökken. Ezen folyamatok mindegyike ridegíti az anyagot.

A vasbázisú ötvözetekben 600–700 °C hőfoktartományban történő hosszú üzemelése esetén, a Fe–Cr rendszer egyik fázisa, a rideg–fázis jelenhet meg. Ez az intermetallikus fázis jelentős elridegedést okoz, a

* ötdéves hallgató, BME Mechanikai Technológia és Anyagszerkezettani Tanszék
1521 Budapest, Goldmann Gy. tér 3. V2 ép.

fajlagos ütőmunka erősen csökken. Képződése 600 °C-on a legintenzívebb, magasabb hőmérsékleten a folyamat sebessége csökken. A Ti- és Nb-ötvözés hátráltatja a σ -fázis keletkezését. A folyamatban meghatározó paraméter még a szemcsenagyság és az előzetes hidegalakítás mértéke.

Az öregítés során magas hőmérsékleten rövid idő alatt megjelenik a szemcsehatárokon az $Fe_2(Mo, W)$ összetételű Laves-fázis. A molibdén és a volfrám szilárd oldat szilárdító hatását, de a ferrit mátrixból kidiifundál a szemcsehatárra, koagulál és fémközi vegyületet alkot a vassal. Így pl. a P91 típusú acélban 600 °C-on 950 óra után már megfigyelték jelenlétét. A kiválás első szakaszában nehéz megkülönböztetni az $M_{23}C_6$ -tól, de gyorsabban növekszik és ezért erősen csökkenti a melegszilárdságot. Környezetében nagy Si-tartalmat figyeltek meg, tehát ez az elem elősegítheti keletkezését [4].

Az öregedés során tehát a szilárdsági jellemzőket a koaguláló karbidok, intermetallikus vegyületek és Laves-fázisok rontják le. A szemcsén belüli ötvözőeloszlás inhomogén lesz, a szemcsehatárokon meredeken emelkedik a koncentráció. A diszlokációk mozgásához kevesebb energia kell, mert már nem sok kis apró kiválás kerül az útjukba, hanem durva, nagyméretű fázisok.

Az öregedés vizsgálata

A 9–12% Cr-tartalmú acéltípus mintáinak vizsgálatára a Budapesti Műszaki Egyetem Mechanikai Technológia és Anyagszerkeztani Tanszék anyagvizsgáló laboratóriumában került sor. A bemutatott két jellemző típus közül az egyik egy alakított cső anyagminőség, a másik pedig öntvény volt (1. táblázat).

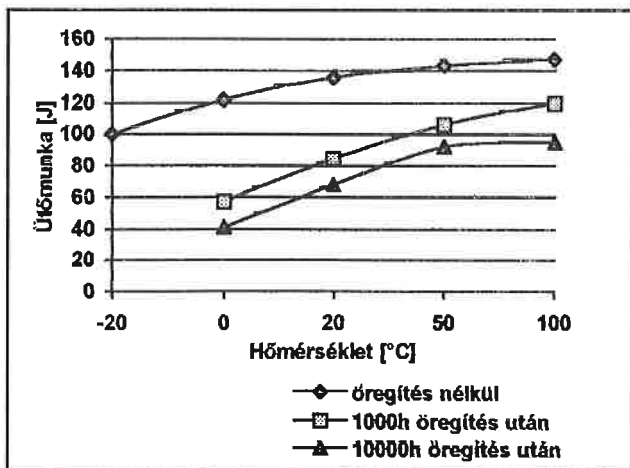
1. táblázat. A két acéltípus kémiai összetétele

típus	%					ppm				
	Cr	Mo	W	Co	Si	Nb	N	B	S	Al
alakított	8,7	0,97	0,96		0,13	620	655		70	30
öntvény	9,2	1,5		1,1	0,24	800	190	59	40	140

Az öregítést elektromos fűtésű kemencében 600 °C-on végeztük.

A szabványos Charpy-vizsgálatot négy hőmérsékleten végeztük, mintánként és hőmérsékletenként 3–3 db. próbatestet törtünk el. A próbatestek hőmérsékletét egy sóoldat tartalmú termosztáttal állítottuk be.

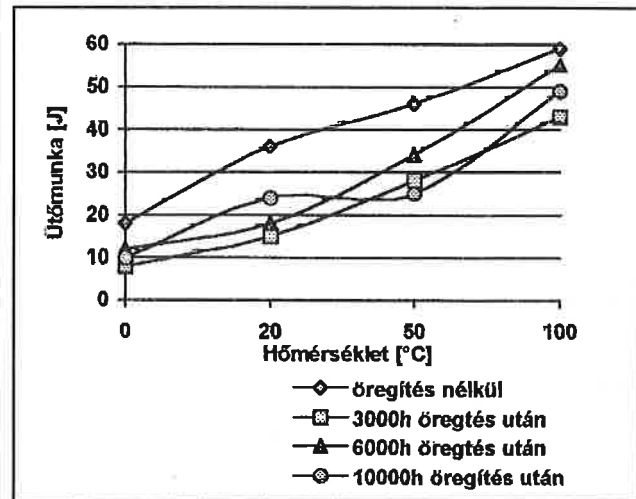
Az alakított acél öregítés nélkül a megkívánt 70 J ütőmunkát teljesítette, a kritikus átmeneti hőmérséklete -40 °C volt (1. ábra).



1. ábra. Az alakított acél ütőmunkái a 600 °C-os öregítés után

A diagramból megállapítható, hogy az öregítés során a kritikus átmeneti hőmérséklet eltolódott 20 °C közelébe, az ütőmunka értékei végig csökkenő tendenciát mutatnak a vizsgált tartományban.

Az öntvény, öntött szerkezete miatt rideg volt, ütőmunkája 20 °C-on mindössze 36 J-nak adódott (2. ábra). Az öregítés során a vizsgált hőmérséklet-tartományban az ütőmunka értéke először lecsökkent, majd pedig emelkedni kezdett. Ezt valószínűleg a kiválásos keményedés okozta. Hosszabb távon viszont a csökkenés dominál.



2. ábra. Az öntvény ütőmunkái a 600 °C-os öregítés után

Összefoglalás

Az egyre jobb hatásfokú energiaátalakítás csak akkor valósulhat meg, ha a beépített erőművi anyagok teljesítik a konstrukció-anyag-technológia hármass követelményrendszerét.

Az öregedés során megváltozik a kivált fázisok mérete és összetétele, a szemcse oldott ötvözőtartalma csökken, új fázisok keletkeznek (σ -fázis, Laves-fázis). A szövetszerkezeti változások hatására csökkennek az acél hosszú idejű tartamszilárdsági jellemzői. Ennek a mechanizmusnak a pontosabb megismerése lehetőséget ad új, az előzőeknél kedvezőbb tulajdonságú acélok kifejlesztésére. Olyan összetételre kell törekedni, amelyben az öregedés során, a nagy hőmérsékleten lejátszódó diffúziós folyamatok lassabbak.

A 9–12% Cr-tartalmú acélok 600–620 °C-ig használhatók fel, termikus és mechanikai tulajdonságaik az adott tartományban jobbakként, mint az ausztenites acéloké.

Az elvégzett vizsgálat alapján megállapítható, hogy a 9–12% króm-tartalmú acélok szívóssága függ a kémiai összetételtől és az előállítás módjától. Az öntvény szívóssága öregítés nélkül is lényegesen kisebb volt, mint az alakított cső anyagminőségé. Az öregedés hatására a szívósság csökkent, az öntvény esetében kiválásos keményedés is lejátszódott.

További anyagvizsgálatok és konkrét erőművi tapasztalatok szükségesek a tárgyalt acéltípus tulajdonságainak pontosabb megismeréséhez.

Irodalom

- [1] Büki G.: Korszerű erőművek hatásfoka, Magyar Energetika 1998/5 pp163–173
- [2] Artinger I., Havas I.: 9–12% Cr-tartalmú acélok törési vizsgálatai, V. Törésmechanikai Szeminárium Miskolc–Tapolca 1995, pp124–131
- [3] Fujita, T.: Current Progress in 9–12% Cr Ferritic Heat Resistant Steels, Central European & World Connection Electric Power Industry Forum 95, Kraków Poland, pp1–24
- [4] V. Foldyna, Z. Kubon, A. Jakobová, V. Vodárek: Structural Stability of 9–12% Chromium Steels for Advanced Power Plants, Central European & World Connection Electric Power Industry Forum 95, Kraków Poland, pp156–174

Ez a cikk az 1998. novemberi Budapesti Műszaki Egyetem tartott Tudományos Diákköri Konferencián elhangzott előadás kivonata. Ezúton is megköszönöm konzulensem, Prof. Artinger István segítségét.