



Tardy Pál – Kiss László – Károly Gyula

SPECIÁLIS ACÉLOK GYÁRTÁSÁNAK METALLURGIAI, ENERGETIKAI, KÖRNYEZETVÉDELMI, MINŐSÉGBIZTOSÍTÁSI SZEMPONTJAI

Miskolci Egyetem
2013

Tardy Pál
a műsz. tud. doktora
c. egy. tanár

–

Kiss László
dr. techn.
c. egy. docens

–

Károly Gyula
a műsz. tud. doktora
Prof. emeritus

SPECIÁLIS ACÉLOK GYÁRTÁSÁNAK METALLURGIAI, ENERGETIKAI, KÖRNYEZETVÉDELMI, MINŐSÉGBIZTOSÍTÁSI SZEMPONTJAI

A digitális tananyag a TÁMOP-4.1.2.A/1-11/1-2011-0071 számú, *Kompetencia alapú, korszerű, digitális komplex tananyagmodulok létrehozása és on-line hozzáférésük megvalósítása fémtechnológiákhoz kapcsolódó felsőfokú műszaki képzési területeken* című projekt keretében készült

Lektorálta:

Dr. Szőke László
műszaki tudományok kandidátusa
c. egyetemi tanár

TARTALOMJEGYZÉK

Tartalomjegyzék.....	3
Előszó.....	5
1. Bevezetés.....	6
2. Felhasználói igények, az acélok fontosabb tulajdonságai.....	8
2.1. A felhasználói igények fokozatos növekedése.....	8
2.2. Speciális acélminőségek rendelkezéseiben előírt minőségi tulajdonságok fémtani értelmezése.....	11
2.2.1. Vasalapú szerkezeti anyagok jellemzése.....	11
2.2.2. A vas és acél metallográfiai szerkezete.....	12
2.2.3. A vasötvözetek egyensúlyi állapota és jellegzetes szövetelemei.....	13
2.2.4. Az acélok hőkezelése.....	15
2.2.5. Edzhetőség jelentősége.....	18
2.2.6. Az acélok hegeszthetősége.....	20
2.3. Az acélminőségek csoportosítása.....	22
3. Speciális acélok gyártásának metallurgiai szempontjai.....	29
3.1. Az acélgyártó vertikumok változása terén érzékelhető tendenciák.....	29
3.2. Speciális minőségű acélok gyártástechnológiája.....	30
3.2.1. Általános acélgyártási technológia tervezése.....	32
3.2.2. Alapacélok metallurgiája.....	34
3.2.2.1. RSt37-2 jelű acél gyártása LD-konverterben.....	35
3.2.3. Speciális acélminőségek metallurgiája.....	38
3.2.3.1. Növelt folyáshatárú, jól hegeszthető acélok.....	38
3.2.3.2. Betétben edzhető acélok.....	44
3.2.3.3. Nemesíthető acélok.....	48
3.2.3.4. Automata és jól forgácsolható acélok.....	54
3.2.3.5. Sínacélok.....	56
3.2.3.6. Korrózió- és hőálló acélok.....	60
3.2.3.7. Szerszám- és gyorsacélok.....	63
3.2.3.8. Csapágyacélok.....	70
3.2.4. Kiemelt fontosságú speciális acélok.....	77
3.2.4.1. Repülés, rakéta és űrhajózás szerkezeti anyagai.....	77
3.2.4.2. Atomipari acélminőségek.....	80
4. Minőségbiztosítás az acélgyártásban.....	82
4.1. Az egységes nemzetközi minőségügyi rendszer kialakulása, bevezetésének szükségesség.....	82
4.2. Minőségbiztosítási fogalmak.....	83
4.3. A minőségbiztosítási rendszer felépítése, működtetése, tanúsítása.....	86
4.4. A minőségbiztosítás gyakorlati működtetése az acélgyártásban.....	89
4.4.1. Primer acélgyártás minőségbiztosítása.....	92
4.4.2. Üstmetallurgia minőségbiztosítása.....	95
4.4.3. Folyamatos öntés minőségbiztosítása.....	96
5. Környezetvédelem az acéliparban.....	98
5.1. Bevezetés.....	98
5.2. Az acélipari technológiák környezetterhelése.....	98
5.2.1. Légszennyezés.....	98
5.2.1.1. Zsugorítóművek.....	100
5.2.1.2. Kokszolás.....	101

5.2.1.3. Nyersvasgyártás	102
5.2.1.4. Oxigénos konverteres acélgyártás	103
5.2.1.5. Elektroacélgyártás	105
5.2.2. Vízfelhasználás, vízszennyezés.....	105
5.2.3 Hulladékok, melléktermékek	107
5.2.4. Salakok.....	111
5.3 Környezetvédelmi szabályozás	113
6. Az acélipar energiafelhasználása és CO ₂ kibocsátása.....	117
6.1. Bevezetés.....	117
6.2. Az acélipari technológiák energia igénye	118
6.2.1. Kokszgyártás	119
6.2.2. Zsugorítmánygyártás	119
6.2.3. Nyersvasgyártás	120
6.2.4. Konverteres acélgyártás	122
6.2.5. Elektroacélgyártás	122
6.2.6. Üstmetallurgia, folyamatos öntés	123
6.3. A klímavédelem és az acélipar	123
6.3.1. A klímaváltozás és a CO ₂ kibocsátás	123
6.3.2. Az EU klímapolitikája és az emissziókereskedelmi rendszer (ETS)	125
6.3.3. Az acélipar kibocsátásának alakulása az 1. és 2. kereskedelmi periódus alatt (2005-2011).....	127
6.3.4. Az emissziókereskedelem szabályozása 2013-2020 között	128
6.3.5. Az EU dekarbonizációs útvonala és az acélipar.....	132
6.4 Életciklus elemzések (LCA).....	133
Irodalomjegyzék.....	136
TESZTFELADATOK.....	Hiba! A könyvjelző nem létezik.

ELŐSZÓ

250 évvel ezelőtt, Mária Terézia királynő 1762. október 22-i rendeletével indult be -a világon elsőként- a bányász-kohász akadémiai szintű képzés a selmeci tanintézetben. Az 1867-es osztrák-magyar politikai kiegyezéssel a selmeci akadémia magyar állami intézmény lett, Kerpely Antal professzor az 1872-ben alapított Vaskohászat és Vasgyártás Tanszéken, még az 1872/73-as tanévben megjelentette az első magyar nyelvű kohászati tankönyvet, a kétkötetes Vaskohászat-t. A hazai kohómérnökképzés óta eltelt 140 éve alatt -Selmecen-Sopronban-Miskolcon- a tematikában, az oktatásszervezésben, a jegyzetellátottságban számos változás következett be. A 2012/2013-as tanévben, a kor követelményeinek megfelelően –a TÁMOP-4.1.2.A-1-11/1 sz. pályázat elnyerése alapján megindult jegyzetkorszerűsítésnél- elsőként jelennek meg digitális jegyzetek az acélgyártás témakörében (az egymásra épülés sorrendjében az alábbiak):

Károly Gyula:
Acélmetallurgia alapjai

Károly Gyula – Józsa Róbert:
Konverteres acélgyártás

Károly Gyula – Kiss László - Harcsik Béla:
Elektroacélgyártás

Károly Gyula – Kiss László - Károly Zoltán:
Acélok üstmetallurgiai kezelése

Károly Gyula – Réger Mihály – Harcsik Béla:
Acélöntés, speciális acélgyártás

Tardy Pál – Kiss László – Károly Gyula:
Speciális acélok gyártásának metallurgiai, energetikai, környezetvédelmi, minőségbiztosítási szempontjai

*

Tardy Pál – Károly Gyula:
Acélgyártásnál a technológia fejlesztés, adagvezetés elméleti megfontolásai, vertikális szempontjai

Kiss László – Józsa Róbert – Harcsik Béla:
A primer acélgyártás technológia tervezésének, technológiafejlesztésének gyakorlati szempontjai

Kiss László – Józsa Róbert – Harcsik Béla:
Az üstmetallurgia és a folyamatos öntés technológia tervezésének, technológiafejlesztésének gyakorlati szempontjai

Az utóbbi 3 jegyzet az Európai Unióban mindmáig egyetlenként elfogadott közös tananyag, a steeluniversity magyar nyelvű adaptációját, ill. hazai vonatkozásokkal kiegészítését jelenti, mely rövidesen a www.steeluniversity.org honlapon található. Jegyzetkorszerűsítéseinknél figyelembe kellett vennünk, hogy az a mai kohómérnökképzés négyes lépcsőjének (felsőfokú szakképzés: BSc-, MSc-, -PhD-képzés) feleljen meg, segítse az elméleti felkészülés mellett a gyakorlatorientált mérnökképzést is. Ezen jegyzetek mindegyike a www.tankönyvtar.hu honlapon, ill. a Vaskohászat és Vasgyártás tanszék mai jogutódjának, a Miskolci Egyetemen működő Metallurgiai és Öntészeti Intézet-nek a honlapján (www.metont.uni-miskolc.hu) tekinthető meg.

Miskolc, 2013.

Szerzők

1. BEVEZETÉS

Az elmúlt három évtizedben komoly átrendeződés tapasztalható az acélgyártás eljárásainak fejlődésében. Kiemelt szerepet kapott a minőség-centrikusság, új anyag- és energiatakarékos acélminőségek kifejlesztése és a környezetkárosító hatások lokalizálása.

A modern ipari társadalomban bekövetkezett technikai haladással párhuzamosan az acélgyártási technológiák a speciális minőségi tulajdonságokkal rendelkező acélminőségek irányába fejlődnek. Az eredmények valamennyi fontos ipari szektorban megtalálhatók. A korábbi alapacél minőségű, nagytömegű építményeket, gyártmányokat felváltották a könnyűszerkezetes, minőségi- és nemesacélból készült gépek berendezések, híd- és acélszerkezetek, szállítási- és közlekedési járművek, valamint űrállomások, atomipari létesítmények.

Az ipari szektorokban működő acélfeldolgozó vállalatok által megkövetelt minőségi tulajdonságok nagy száma, sokfélesége, komoly szakmai kihívást jelentett és jelent a metallurgus kohómérnökök számára. A rendelők által igényelt, több ezer féle acélminőség gyártástechnológiáját úgy kell megtervezniük, hogy a gyártott termék minősége mindenben teljesítse a vevői (felhasználói) elvárásokat.

A hagyományos, csak a szabvány előírásait figyelembe vevő alapacél kategóriájú acélminőségek gyártása jól begyakorolt technológiákkal megfelelően kivitelezhetők. A speciális minőségű acélok gyártástervezése azonban nem nélkülözheti a metallurgiai ismeretekhez kapcsolódó társtudományok ismeretét, felhasználását, ezen acéltípusok gyárthatósága sokféle megfontolást figyelembe véve tudatosabban, speciális technológiákkal történhet.

A minőségi- és nemesacélok széles választékában és a kívánt minőségi tulajdonságok sokrétűségében az eligazodást azok az alapvető törvényszerűségek jelentik, amelyek kapcsolatot teremtenek az anyag vegyi összetétele, szerkezete és tulajdonságai között. Csak a fémfizikai és fémtani alapelvekre támaszkodva készíthetők olyan acélgyártási technológiák, amelyek a rendelésben megfogalmazott szabvány szerinti követelményeken túlmenően a „feltétfüzet”-ekben szereplő sokrétű és különleges követelményeket is biztosítják.

A tananyag élethűségének növelése érdekében a fejezetek tárgyalásánál, a piac által megkövetelt újszerű minőségi előírások metallurgiai és fémfizikai értelmezése, azok teljesítésének módja került előtérbe, különös tekintettel az anyag- és energiatakarékos technológiák kialakítására.

A gyakorlatból vett példák igazolják, hogy a leendő és gyakorló metallurgus kohómérnököknek nemcsak az acélgyártás közvetlen ismereteit kellene elsajátítaniuk, hanem tájékozottnak kellene lenniük az anyagszerkezet, a képlékeny alakítás, a termék kikészítés, a hőkezelés, sok esetben a felhasználási célként megjelölt kohászati tudományok nem lexikális ismeretével is. Ez azonban ma az MSc képzés tananyagába is csak korlátozottan fér bele, a diplomaszerezést követő időszakban felnőttképzés (mérnöktovábbképzés, e-learning képzés, egyéni továbbképzés, PhD-képzés) keretében még igen sok tanulni való marad ahhoz, hogy az idővel történő előrehaladást megértsük, hasznosíthassuk.

Az ELŐSZÓ-ban felsorolt jegyzetek közül az *Acélmetallurgia alapjai*, továbbá a *Konvertes acélgyártás*, az *Elektroacélgyártás*, az *Acélok üstmetallurgiai kezelése*, az *Acélöntés*, *speciális acélgyártás* című jegyzet a BSc tananyagát hivatott lefedni, ezen tananyagok elsajátításával üzemmérnöki feladatok ellátására válhat alkalmassá a BSc-t végző egyetemi hallgató, eközben viszont magáról a termékről alig sajátít el ismereteket. Az MSc tananyagában ezért elkerülhetetlen egy olyan tananyag, amely a különböző acéltípusok felhasználói tulaj-

donságainak ismertetésével foglalkozik, ezen acéltípusok biztosítása érdekében figyelembe veszi a speciális gyártási, minőségbiztosítási, környezetvédelmi és energiagazdálkodási szempontokat.

A **www.steeluniversity.org** tananyaga is ezt teszi: ott 4 minőségi csoport van kiemelve (szerkezeti acélok, ULC mikroötvözött acélok, csőacélok, járműipari acélok). E jegyzetben a hazai adottságoknak megfelelően növeljük a tárgyalandó acéltípusok számát, a társtudományok (fizikai kémia, fémtan, tüzeléstan stb.) ismertetésébe azonban nem kívánunk belemenni, csupán a legszükségesebbnek vélt határig. Mindenkor jó kiegészítőnek tartjuk viszont a *steeluniversity* kapcsolódó fejezeteinek megismerését, s ezzel – reményeik szerint – ez a jegyzet jó e-learning jellegűvé válhat, melyet a diplomás kohómérnökök felnőttképzés keretében is jól hasznosíthatnak.

2. FELHASZNÁLÓI IGÉNYEK, AZ ACÉLOK FONTOSABB TULAJDONSÁGAI

2.1. A felhasználói igények fokozatos növekedése

Az 1800-as évek második felében bevezetett nagyüzemi acélgyártások óta hatalmas fejlődés következett be az acélok gyártásánál és a minőség fejlesztésénél. Bessemer 1855-ben jelentette be első szabadalmát, 1864-ben csapolták az első martinacél adagot és 1906-ben az első Heroult-rendszerű ívkemencében (Remscheid) gyártott elektroacél adagot. Ezt követően, a technika fejlődésével párhuzamosan rohamléptékben haladt előre az acélgyártás fejlesztése.

Hazánk mindenkor igyekezett lépést tartani a nemzetközi színvonallal. Különösen figyelemre méltó a II. világháború után bekövetkezett fejlődés. A háború pusztításai következtében megrongálódott acélművek újjáépítésével az 1935. évi 648 000 t-ás acéltermelés 1949. évben 860 000 tonnára, 1954 évben 2 200 000 tonnára növekedett és az akkori államvezetés becsvagyó célkitűzése szerint: *Az új ötéves terv eredményeként hazánk a vas és acél országává, ipari országgá, a gépek országává válik* [1]. 1950-ben elkezdődött a Dunai Vasmű építése, melynek üzembe helyezése után több mint három millió tonnára növekedett a hazai acéltermelés. 1950-es évek acélgyártásában uralkodó „tonna szemlélet” azonban nem segítette a minőségi acélgyártás érvényesülését. A kiadott termelési tervek teljesíthetősége kritikussá vált, az acélgyártók sokszor kényszerültek arra, hogy a minőségi követelmények rovására növeljék a termelést.

Érdekes helyzet alakult ki a KGST időszakában. A szervezetbe tartozó országok gazdasági, ezen belül a termékszerkezeti megosztásánál Magyarország a hadiipari és a járműipari acélok gyártásában volt illetékes.

Az alapacél gyártása főleg az Ózdi Üzemekben, autóbusz karosszéria lemezek gyártása a Dunai Vasműben, a gépészeti, szerelési munkák végzése a győri RÁBA üremeiben történt. A nagytisztaságú, szigorított előírású járműipari acélminőségek gyártását hazánkban elsősorban Diósgyőrtől követelték meg, a külön feladatként kapott hadiipari acélok előállítása mellett. A csepeli Weiss Manfred Acélműve a minőségi és nemesacélok széles skáláját állította elő a polgári és katonai járművek, a repülőgépgyártás, a híradástechnika és az olajbányászat számára. Az Acélöntő és Csőgyár, valamint a KÖVAC (a hajdani Hubert és Sigmund) erősen ötvöztött acélöntvényeket gyártott.

Az utóbbi 3-4 évtizedben a minőség szerepe még jobban felértékelődött. Az acélt felhasználó iparágak, így a gép-, kőolaj-, vegyi-, közlekedési- vagy atomipari felhasználók újabb és újabb (extra) igényeket támasztottak az acélt előállító kohászati vállalatok gyártmányaival szemben. Jelentősebbek:

- szűkített Jominy- (edzhetőségi) sáv,
- dinamikus törőerő vizsgálat bevezetése,
- növelt folyáshatár, kedvező arányossági határ, jó hegeszthetőség,
- kereszt- és hosszirányban is jó szívósság (egyes acéltípusoknál kriogén hőmérsékleteken is),
- igen kis szennyező (P, S) tartalom,
- ultrahang vizsgálatral ellenőrzött belső folytonossági hibamentesség,
- jó alakíthatóság, forgácsolhatóság,

- acélszerkezetek, vagy egyes elemek élettartamát növelő tulajdonságok (kúszás-, nyomás-, kopás-, hőállóság) biztosítása,
- speciális előírások (mágneses jellemzők, különleges hőtágulás stb.) teljesítése,
- alak- és a DIN-szigorított előírástól is kisebb mértékű szelvény-mérettűrés, illetve hossz-tömeg szerinti mérettűrés szűkítés,
- felületi hibamentesség, (max. 0,2 mm mértékű felületi egyenetlenség)
- max. 5, egyes esetekben max. 2,5 mm/m szerinti egyenesség a készterméknél,
- hengerelt állapotban való – eddig csak hőkezeléssel elért – egyenletes ferrit-perlites szövetszerkezet biztosítása stb.

A felsorolt minőségi előírások közül – a hengerelt vagy kovácsolt kivitelű termékeket felhasználó vállalatok – különösen azokat az újszerű minőség-tulajdonságú termékeket favorizálták, amelyek felhasználásával az acélszerkezetek, járművek, gépi-berendezések tömege jelentősen csökkent, változatlan vagy nagyobb élettartam elérése mellett.

Számos vevő a minőség tekintetében – a szabványokban rögzített előírásoknál szigorúbb – egyedi igényeket is támaszt a gyártóval szemben, ezen igényeket ún. feltétfüzetekben rögzíti. Amennyiben a gyártó egy kialakított felárért bevállalja a feltétfüzetek szerinti előírások teljesítését, úgy a magasabb szintű előírások teljesítéséért járó magasabb áron az üzlet létrejöhet. A világhírű R^oCkwell járműipari cég 25 oldal terjedelmű feltétfüzetéből pl. kivonatossan mutatjuk be a fontosabb újszerű, speciális előírásokat [2].

Minőségjel: SAE 4135 H

Kémiai összetétel (%) szigorítása (1. táblázat):

1. táblázat A Rockwell cég szigorított kémiai összetételi előírásai %-ban a járműipari SAE 4135 típusú acélra vonatkoztatottan

	C	Mn	Si	P _{max}	S	Cr	Mo	Cu _{max}	Al	Sn _{max}
Szabvány-előírás	0,32-0,38	0,60-1,00	0,15-0,35	0,025	0,020-0,040	0,75-1,20	0,15-0,25	0,25	0,020-0,040	0,040
Feltétfüzet szerinti szigorítás	0,34-0,37	0,80-1,00	0,15-0,35	0,020	0,020-0,035	1,00-1,20	0,18-0,25	0,20	0,020-0,035	0,025

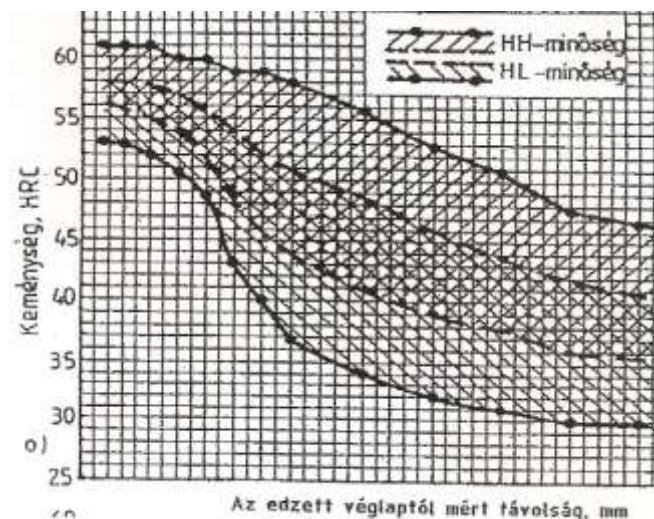
Szállítási állapot: 70 mm átmérőjű hengerelt köracél

Felhasználási cél: tehergépjármű tengelyek, járműipari szerkezeti alkatrészek

Szabványtól szigorúbb minőségi előírások:

- A gyártó által szállított anyag csak R^oCkwell B-1A beszállítói referencia-lajstromba felvett acélműtől származhat, vákuumozott gyártással.
- Az acélgyártó vállalatnak a R^oCkwell átvevő jelenlétében végrehajtott teszteléssel kell bemutatnia, hogy a termék a szabvány és a rendelő egyedi specifikációjában szereplő kívánalmak teljesülnek.
- A megrendelt acélt a szabvány szerinti előírásoktól szűkebb kémiai összetétel-határértékkel kell legyártani, a megrendeléshez csatolt feltétfüzeti összetétel betartásával.
- Edzhetőségi előírás teljesítésére a Jominy-vizsgálatot a SAE J1268 szabvány szerint kell elvégezni, a +H-val jelölt szigorítás mellett. Ez azt jelenti, hogy a termék feleljen meg a szabvány szerinti edzhetőségi előírás középső sávjának (1. ábra), vagyis a HH

jelölés szerinti felső és a HL jelölés szerinti alsó határa közötti mezőben kell elhelyezkednie



1. ábra SAE 4135 acélminőség Jominy-sávja

- Belső tisztaság vizsgálatánál az ASTM E 45 módszert kell alkalmazni, a következő szigorítással: **A** típus: 3. fokozat helyett 2; **B** típus: 3. helyett 1,5 fokozat; **C** típus: 3. helyett 1,5 fokozat; **D** típus: 2. helyett 1,5 fokozat.
- A hengerelt rúd felületi hibamélysége a szabvány szerinti max. 0,040 mm-el szemben – tekintettel a natúr felhasználásra – max. 0,025 mm lehet.
- Porbeles huzalos adagolás csak üstkezelésnél végezhető! Öntőkádba vagy öntőformába való adagolás nem megengedett!
- Az átalakítási szám esetében, az alábbi táblázatban szereplő értékek betartása (2. táblázat) kötelező:

2. táblázat A Rockwell cég feltétfüzeti előírásai az átalakítási számokra

	Termék megnevezése	Minimális alakítási tényező
1.	Spirál és torziós rúgók	15:1
2.	Integrált tengelycsukló futóművek	14:1
3.	Fékkulcsok	10:1
4.	Kiegyenlítő kúpkerek	4:1
4.	Mart fogú fogaskerék	10:1
5.	Felfüggesztett alkatrészek	15:1
6.	Féltengelyek	11:1
7.	Kormányzó tengelycsuklók	23:1
8.	Csapágyacélok	25:1
9.	Kapcsoló villák	5:1

A feltétfüzeti speciális előírásokra példaképp bemutatott előírások igazolják, hogy az egyre növekvő minőségi igények csak speciális, néha egyedi technológiák és vizsgálatok elvégzésé-

vel teljesíthetők, de ez a nemzetközi trend: ezért alakult ki számos acélminőség és ezek gyártásához szükséges számos technológia. Nyilvánvaló, hogy egyetemi tanulmányok során sem a szabványelőírások, sem a feltétfüzeti szigorítások – elsősorban nem időtálló jellegük, továbbá lexikális adatok miatt – nem megtanulandó adatok, de irányadóak az acélminőségek csoportosításainál, ezek megértéséhez, ezért a példák említése erősíti a szabályt.

2.2. Speciális acélminőségek rendelkezéseiben előírt minőségi tulajdonságok fémtani értelmezése

2.2.1. Vasalapú szerkezeti anyagok jellemzése

A színvas képlékeny, lágy fém, a természetben nem fordul elő, meteoritok útján került a földre. Mesterségesen színvasat nem, csak ~ 99,9 % vasat tartalmazó vasfajtát lehet előállítani. Ilyen pl. az elektrolit-vas, karbonil-vas vagy az Armco-vas, bár a gyakorlatban ezeket is színvasnak szokták nevezni.

A színvas legfontosabb tulajdonságait a 3. táblázat tartalmazza.

3. táblázat Színvas jellemző tulajdonságai [3]

Jellemzők	
Általános jellemzők	Fekete színű, könnyen oxidálódó, jól nyújtható és kovácsolható, lágy, nem nagy szilárdságú kémiai elem. Latin neve: ferrum.
Elem jele	Fe
Rendszáma	56
Olvadáspontja	1538 °C
Brinell keménysége	55 kp/mm ²
Sűrűsége (kg/dm ³)	7,88
Fajlagos hőkapacitás 20 °C -on	0,5 J/g °C
Hővezető képesség 20 °C-on	44 W/m. °C
Rugalmassági modulus	A térben középpontos, köbös rácsszerkezetű α-vas átlagos rugalmassági modulusza: $2,1 \cdot 10^5$ N/mm
R _m szakítószilárdság	250 N/mm ²
R _{eH} folyáshatár	110 N/mm ²
Szakadó nyúlás A ₅	60 %
Kontrakció Z	80 %

A vas legfontosabb fémtani jellemzője a rácsszerkezet, illetve a hőmérsékletváltozás során bekövetkező átalakulás.

Ha a színvasat karbonnal ötvözik, akkor keletkezhet acél.

Termodinamikai egyensúly esetén a vas-karbon rendszerben a vas mellett a karbon grafit állapotban van jelen (stabil rendszer). A gyakorlatban legtöbbször a metastabil rendszerrel találkozunk, amelyben a vas mellett a karbon Fe₃C (vaskarbid) alakban van jelen. A különböző szövetszerkezetek meghatározása a C-tartalom és hőmérséklet függvényében a 4. ábrán látható vas-karbon (metastabil) állapotábrából határozható meg.

2.2.2. A vas és acél metallográfiai szerkezete

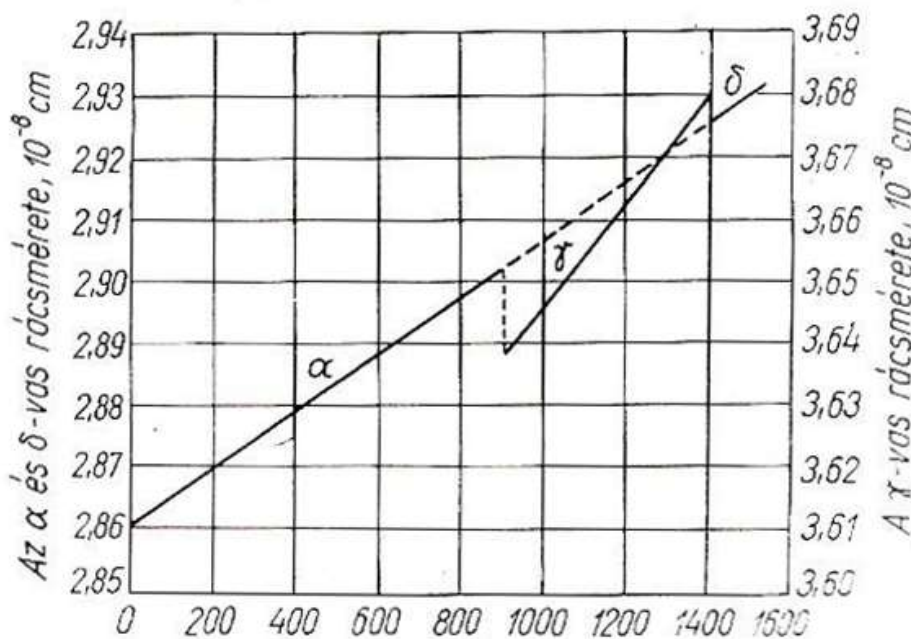
A fémekben az atomok a tér minden irányában, bizonyos szabályszerűséget mutatva helyezkednek el. Ez a szabályszerűség az illető fémre jellemző kristálysíkok kialakulását eredményezi [4].

Az acél dermedése közben nagyszámú kristálymag keletkezik, ezek egyre növekednek, végül összeérnek. Egy-egy magból nőtt, homogénnek tekinthető alakzat a szemcse. Minél apróbb szemcséjű az acél, annál szívósabb.

Folyékony színvas lehűlése közben két átalakulási hőhatás jelentkezik [4]:

Amikor a (szín)vas 1538 °C-on megmerevedik, szabályos rendszerbeli, térben középpontos $2,932 \cdot 10^{-8}$ cm rácsméretű kristallitot alkot. További lehűléskor, 1392 °C-on, gyenge hőhatás kíséretében felületen középpontos, szabályos rendszerbeli $3,68 \cdot 10^{-8}$ cm rácsméretű kristályokká alakul át.

A másik hőtágulás 911 °C-on jelentkezik, ekkor ismét térben középpontos, $2,932 \cdot 10^{-8}$ cm rácsméretű, szabályos rendszerbeli kristályok jelennek meg. További lehűléskor a rácsszerkezet már nem változik, csak a mérete csökken a hő okozta tágulásnak megfelelően. Közös hőmérsékleten a vas kristályai térben középpontos rácsszerkezetűek, rácsméretük ekkor $2,8606 \cdot 10^{-8}$ cm (2. ábra)



2. ábra A színvas rácsméretének hőmérséklettől függő változása [4]

Az acél felhevítésekor fordított a helyzet, ilyenkor a kristálysíkok méretei növekednek, így a vas egyre több C-atomot képes oldani.

A kristálysíkok úgy viselkedik, mint az oldat, ezért szilárd oldatnak is hívják. A szilárd oldatok lágyak, képlékenyek.

A térben középpontos, szabályos rácsszerkezetű szövetelem neve: ferrit, a felületen középpontos, szabályos rácsszerkezetű szövetelem neve: ausztenit.

Ötvözés esetén a Mn, Si, Cr, Ni, V stb. ötvözőelemek atomátmérője a vasétól alig tér el. Ezekkel való ötvözéskor az elemek egy-egy atomja a vaséval helyet cserél, azaz a kocka csúcsára kerül.

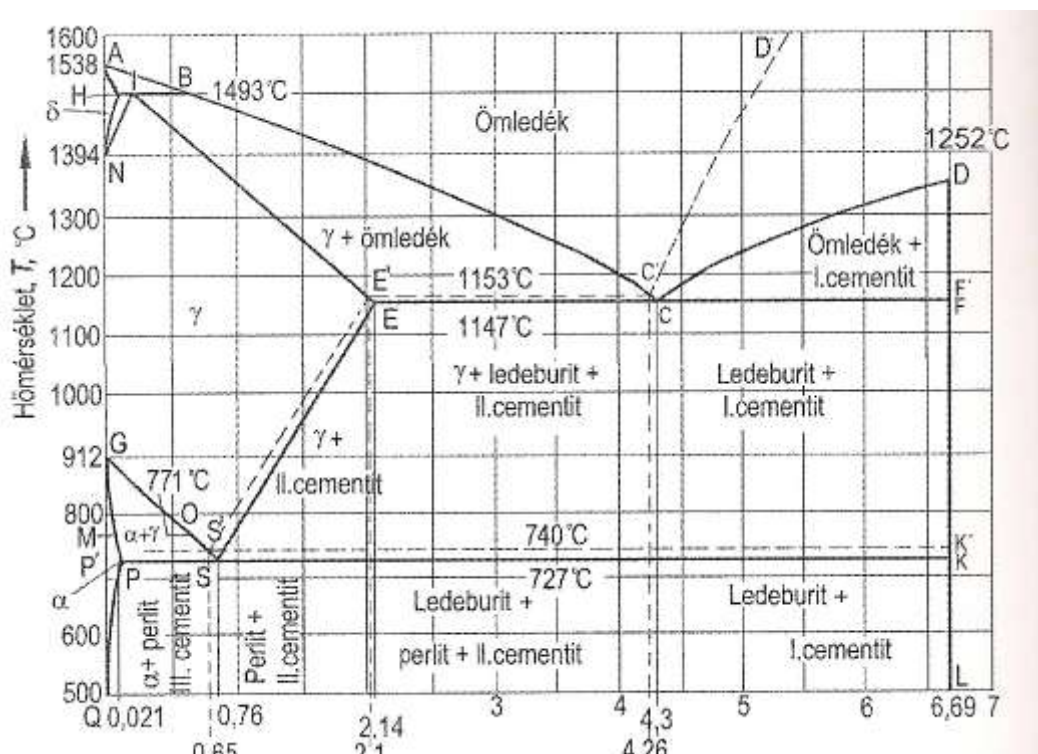
2.2.3. A vasötvözetek egyensúlyi állapota és jellegzetes szövetelemei

A vas ötvözet-rendszerei közül a karbonnal alkotott rendszer a legfontosabb. Ennek vizsgálata a stabil és metastabil állapotot kifejező kétalkotós ikerdiagram (3. ábra) alapján történhet [3].

A vasban fel nem oldott karbon kétféle alakban válik ki: elemi karbonként grafit formájában és vaskarbid formájában. Ennek megfelelően a vas-karbon állapotábra vonalai némileg eltérnek egymástól, aszerint, hogy a vassal a grafit vagy a vaskarbid tart egyensúlyt. Így jön létre a vas-karbon ikerdiagram. Az ikerdiagramban a stabilis rendszerű vas és grafit egyensúlyát a szaggatott vonal, a vas és vaskarbid metastabilis rendszerét pedig a folytonos vonal jelöli.

A 3. ábrában bemutatott Fe-Fe₃C kétalkotós diagram bal oldalán lévő függőleges vonal a vas vonala. Ettől jobbra haladva a vas-szén ötvözeteket találjuk az ábra alsó vízszintes vonalának beosztása szerint (1, 2, 3, 4...7 % C-tartalmú vas-karbon ötvözetek).

A 3. ábra baloldali függőleges vonalán a hőmérséklet látható 1600 °C –ig.



3. ábra A vas-karbon ikerdiagram [4]

A folyékony szénvas 1538 °C-on az ábrán látható kristályszerkezetben, szabályos, térben középpontos rácsszerkezetben kristályosodik (neve: delta-vas; szövetszerkezete: ferrit).

Lehülés közben az 1392 °C elérésekor, a térben középpontos rács átalakul felületen középpontos ráccsá (neve: gamma-vas; szövetszerkezete: ausztenit), melyet ugyancsak a 2. ábra

szemléltet és ilyen rácsszerkezetű marad 912 °C-ig. Ez a rácsszerkezeti forma olyan, hogy a kocka minden oldalán közepén, az oldallapok átlóinak metszéspontjában is található egy-egy vas atom, természetesen a csúcsokon levőkön kívül. Ebben a formában a kocka belseje üresnek tekinthető, majd 912 °C-on a rácsszerkezet visszaalakul az eredeti térben középpontos módosulatra, de ezt már nem delta, hanem alfa-vasnak nevezik.

A 912 és 771 °C közötti ferrit paramágneses tulajdonságú.

A vas kristályosodása karbon-tartalomtól függően az ABC vonal mentén következik be, melyet *likvidusz* vonalnak hívunk. A teljes kristályosodás a HNIEC vonal mentén fejeződik be, melyet *szolidusz* vonalnak nevezünk.

A legkisebb megszilárdulási hőmérsékletű 4,3 % karbon tartalmú ötvözetet eutektikumnak (C pont) nevezzük. Az ettől nagyobb karbon tartalmú tartományt hipereutektikus, az ettől kisebb karbon tartalmú tartományt hipoeutektoidos szövetszerkezeti tartománynak nevezzük. A 0,76 % karbontartalomnál van az eutektoidos összetétel, az ettől nagyobb karbontartalmú tartományt hipereutektoidos, az ettől kisebbet hipoeutektoidos tartománynak nevezzük.

A gyakorlatban használatos ötvözetlen C-acélok a GSE vonal fölötti területen ausztenites állapotban vannak. Ha az acél C-tartalma 0 - 0,77 % között van, akkor a tiszta ausztenites terület alsó határa a GS vonal. Ha viszont a széntartalom 0,77 - 2,14 % között van, akkor az SE vonal jelenti az ausztenites mező alsó határát.

A 0,02...0,76 % C-tartalmú acéloknál az ausztenit 727 °C-on (a diagram S pontjában) átalakul. Ez az átalakulás új szövetelem, a perlit megjelenését jelenti. Amíg a ferrit és ausztenit egyenmű szilárd oldat, addig a perlit különálló alkotókból áll: ferrit és cementit apró lemezkéi alkotják.

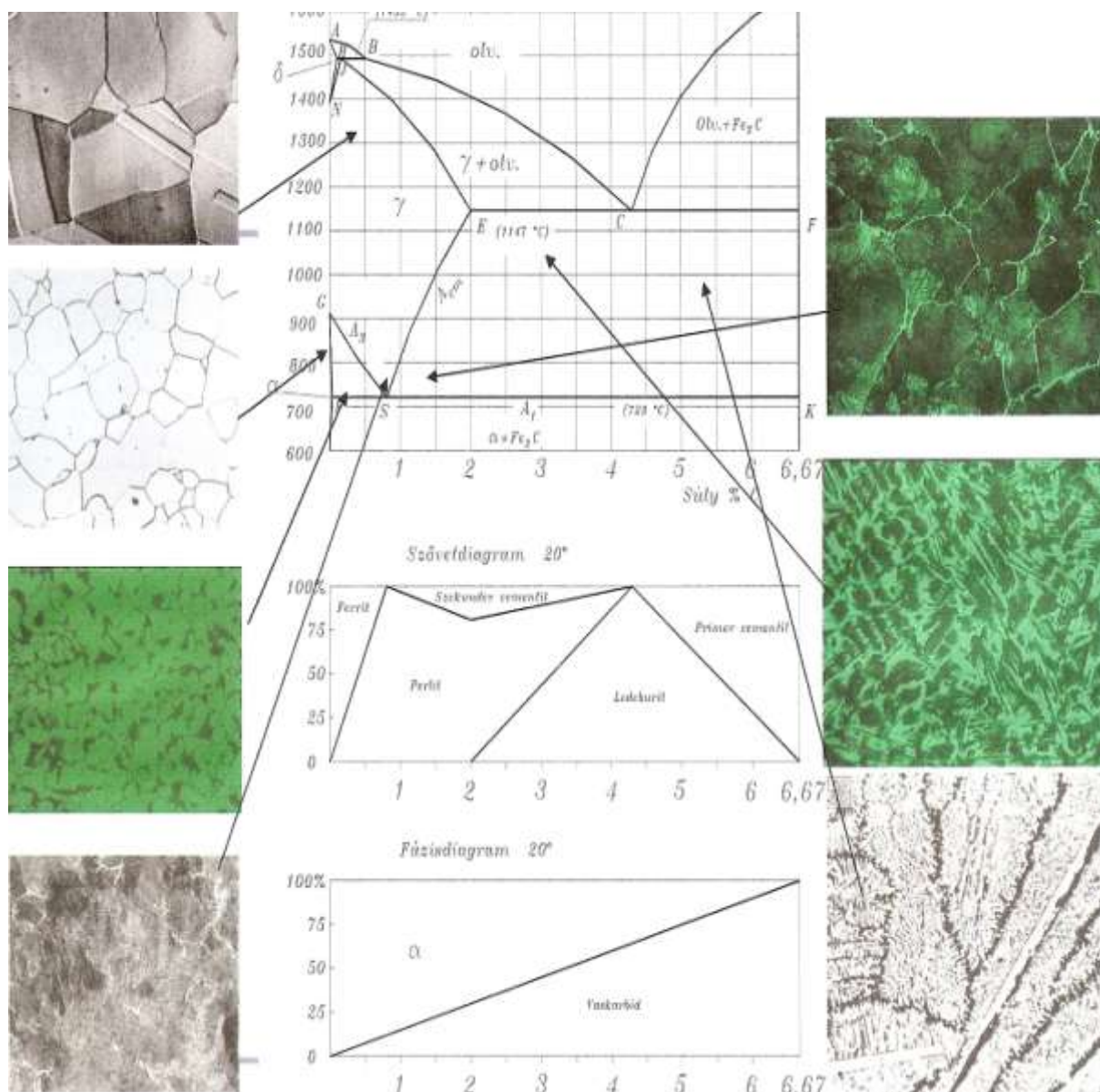
A perlit képlékenyen alakítható, keménysége ~ 180 HV, nyúlása ~ 10 %. A lemezek méretei függenek attól, hogy milyen gyorsan hűtötték le az acélt 727 °C alá. Ezt hatást a gyakorlatban, az acélok hőkezelésénél tudatosan alkalmazzák, amikor „túlhűtéssel” igen finom szövetszerkezetű acélt tudnak előállítani,

Az S ponttól balra lévő szénacélok az SE vonalnak megfelelő hőmérsékleten és összetételénél C kiválás történik, mivel a hőmérséklet csökkenésével ezek az acélok egyre kevesebb szén tudnak oldani. A már oldatban nem tartható szén a ferritből úgynevezett vaskarbid alakjában válik ki az SE vonal mentén. A vaskarbid vas és szén vegyülete, képlete: Fe_3C , szövettani elnevezése cementit.

A cementit rombos rendszerben kristályosodó, kemény, rideg, nem alakítható vegyület. Jelenlétével csökken az acélok alakíthatósága, de növekszik a kopásállósága.

(A szövetszerkezet meghatározás úgy történik [5], hogy a diagram baloldali függőleges vonalán megjelöljük a kérdéses hőmérsékletet, onnan vízszintest húzunk a szén oldódását jelentő ES és PQ görbék határvonaláig. Ha például azt keressük, hogy a vas 1000 °C-on hány % szént tud oldani, akkor a diagram bal oldali függőleges vonalán megkeressük az 1000 °C-ot jelentő pontot, onnan vízszintest húzunk az ES görbéig. Ahol a vízszintes vonal metszi az ES görbét, onnan függőleges vonalat húzunk a diagram alapvonalára és leolvashatjuk, hogy 1,6 % az oldható szén legnagyobb mennyisége ezen a ponton.)

A kristályosodás közben létrejövő szövetszerkezetek fényképes bemutatása a 4. ábrán látható.



4. ábra Az acél kristályosodása közben létrejövő szövetszerkezetek [6]

Az ötvözőelemek közül a legfontosabb ausztenit-, ferrit-, karbid-, és nitridképzők:

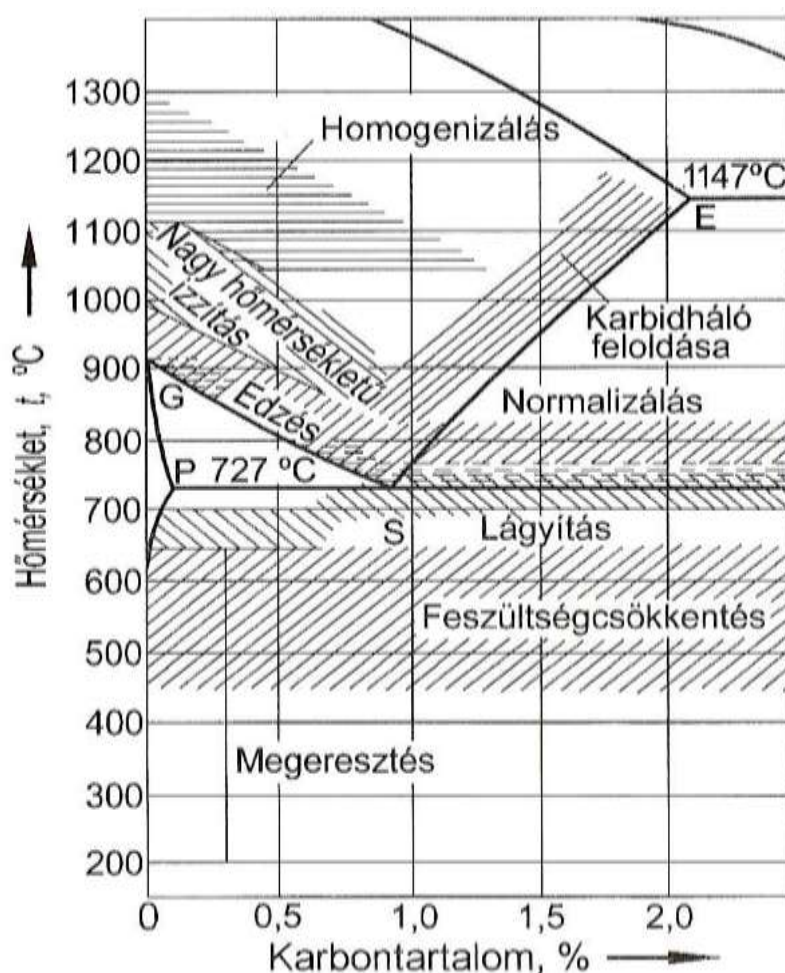
Ausztenitképzők:	C, Mn, Ni
Ferritképzők:	Al, B, Cr, Mo, Nb, Si, Ti, V, W, Zr
Karbidképzők:	Mn, Cr, Mo, W, V, Nb, Ti
Nitridképzők:	Al, Cr, Zr, Ti, V

2.2.4. Az acélok hőkezelése

Az acélok széles körű alkalmazhatóságát főleg annak köszönheti, hogy hőkezeléssel a legváltozatosabb tulajdonság-kombinációkat lehet megvalósítani.

Hőkezeléssel az acél tulajdonságait szilárd állapotban változtatják meg szövetszerkezetük átalakításával, jobb eredmények (pl. nagyobb szilárdság, szívósság, jobb megmunkálhatóság) elérése érdekében.

A hőkezelési eljárások megválasztása a metastabilisan (Fe-Fe₃C rendszerben) kristályosodott vas állapotábrájából jól tervezhető. Az acélok hőkezelési eljárásainak csoportosítását az 5. ábra, az alkalmazott módszereket pedig a 6. ábra foglalja össze.



5. ábra Az acélok hőkezelési sávjai az Fe-Fe₃C diagramban [7]

Izzítás	Ábra	Cél
Homogenizálás		Vegyí összetételbeli inhomogenitások diffúzióval való csökkentése
Szemcsedurvító izzítás		Szemcsék durvítása, a forgácsolhatóság javítása
Normalizálás		Finomszemcsés, egyenletes szövet (normál állapot) előállítása
Lágyítás		Megmunkálhatóság javítása, szívósság növelése, lágy állapot elérése
Feszültségcsökkentő izzítás		A fém megmunkálása során keletkezett (maradó) feszültségek csökkentése, a mechanikai tulajdonságok jelentős változtatása nélkül
Újrakristályosító izzítás		A hidegalakítással együtt járó káros jelenségek megszüntetése, újrakristályosítás

6. ábra Az acélok hőkezelési eljárásai [7]

2.2.5. Edzhetőség jelentősége

Edzhetőségen az acél ausztenites állapotból való lehűlésekor keletkező martenzit képződési hajlamot értjük. Gyakorlati szempontból az acél edzhetőségét két adattal jellemezhetjük, úgymint a darab felületén edzéskor elért keménységgel és a darab keresztmetszetén való eloszlásával. A felületi keménység nagysága a C-tartalomtól függ, mely ötvözőelemekkel alig befolyásolható, de a keresztmetszet belső magjában, az ötvözőelemek koncentrációjától függ a keménység eloszlása.

Ami az acélt a legfontosabb fémes anyaggá teszi – a ferromágneses tulajdonsága mellett – az a kristályszerkezetének hőkezeléssel történő átalakíthatósága. Ez függ:

- a hőkezelés fajtájától,
- a munkadarab geometriájától, méretétől és a kémiai összetételétől

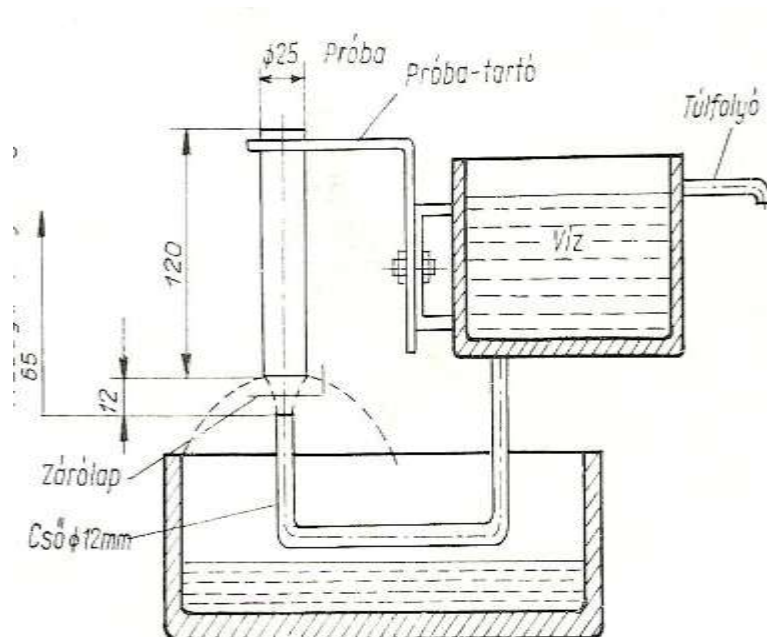
A kémiai összetételen túlmenően a kialakult szövetszerkezetek tulajdonságai: a kiválások részaránya, nagysága, eloszlása vagy az ausztenit szemcsék nagysága is jelentősen befolyásolják a résztvevő stabil fázisok keményedési mechanizmusának feltételeit.

Az edzhetőségi tulajdonságok ismerete különösen a betétben edzhető fogaskerék-hajtómű alkatrészek gyártásánál és feldolgozásánál fontos, mert direkt vagy indirekt módon befolyásolják a munkadarabok hőkezelésénél bekövetkező méret- és alakváltozásokat. Az edzhetőség befolyásolja a hajtómű alkatrészek (fogaskerek, tengelyek) használati tulajdonságait is, mint például a fogtöszilárdság, fogoldali teherbíróképesség, kopásállóság, amelyek elérését a munkadarab beedződési mélységével és magszilárdságának mértékével állítanak be a betétedzésnél.

A betétedzés egyik legjobban elterjedt módszere a cementálás, ahol a munkadarab kérgesítendő felületét nagy karbon tartalmú anyagba (legtöbbször faszéntűzbe) ágyazzák, diffúziós izzítással az acél karbon tartalmát kb 0,8...1,0 %-ig növelik. A cementálást követő edzés hatására a felületi kéreg kemény martenzites szövetre edződik, míg a belső mag változatlan C-tartalma révén szívós tulajdonságú marad.

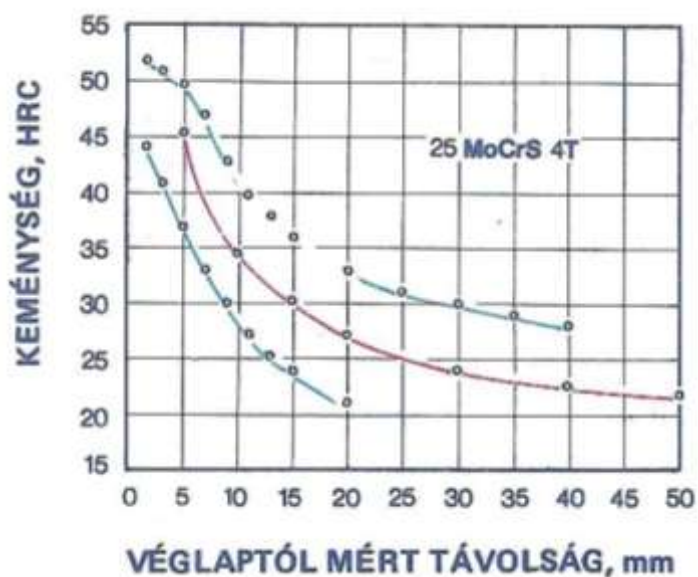
Az edzhetőség mérésére világszerte a Jominy-féle véglapedzéses vizsgálat használatos (ezt ipari gyakorlatba a Csepeli Acélmű vezette be 1952-ben [67]). A próbaelőkészítés a DIN EN 50191 vagy ISO 642 szabvány szerint történhet. Mind két szabványban követelmény, hogy a próbatestet hengerelt bugából kell $\varnothing 30$ mm-re kovácsolni, majd az így nyert próbarúdból kell esztergályozással kimunkálni a 7. ábrán látható készméretre.

A vizsgálatnál a próbatestet az acél minőségére előírt edzési hőmérsékletre felizzítják, 20 percig hűntartják, majd a 7. ábrán látható berendezésbe helyezve az alsó véglapját vízszaggárral 10 percig hűtik. Mivel a hűtővíz csak a próbadarab véglapját éri, az egymás feletti rétegek különböző sebességgel hűlnek le.



7. ábra Jominy-féle véglapedző berendezés [7]

A lehűlt próbatestet két szemben lévő véglapján 0,4 mm mélységig lecsiszolják és ezeken a felületeken a keménységet, meghatározott távolságokban (általában 1,5 mm-es léptékkel) a hűtött véglaptól befelé haladva Rockwell C- vagy Vickers-módszerrel mérik, az eredmények diagramos rögzítése mellett (példa a 8. ábrán).



8. ábra DIN 17210 szabvány szerinti 25MoCrS4T betétedzésű acélminőség Jominy-sávja [8]

2.2.6. Az acélok hegeszthetősége

Hegesztés közben felmelegedő anyagrészekben, az úgynevezett hőhatásövezetekben (9. ábra) az acélok összetételétől és a hűtés sebességétől függően *keményedés*, *beedződés*, esetleg *lágylás* következhet be, amely a kötés teherbíró képességét, szívósságát alapvetően meghatározza.

Az acél hegeszthetősége alapvetően az edződési hajlamtól függ. Ezt az acél karbon-egyenértékszám (C_e), az anyag vastagsága (a) és a hegesztéskor bevitt hőmennyiség határozza meg.

A karbon-egyenértékszám vagy más néven karbon-ekvivalensszám %-os értékben történő meghatározására többféle képlet terjedt el. Hipoeutektoidos acélok esetében általában az a.), hipereutektoidos acéloknál pedig a b.) variáns alkalmazása szokásos [9]:

- Hipoeutektoidos acél:

$$C_e = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{14}$$

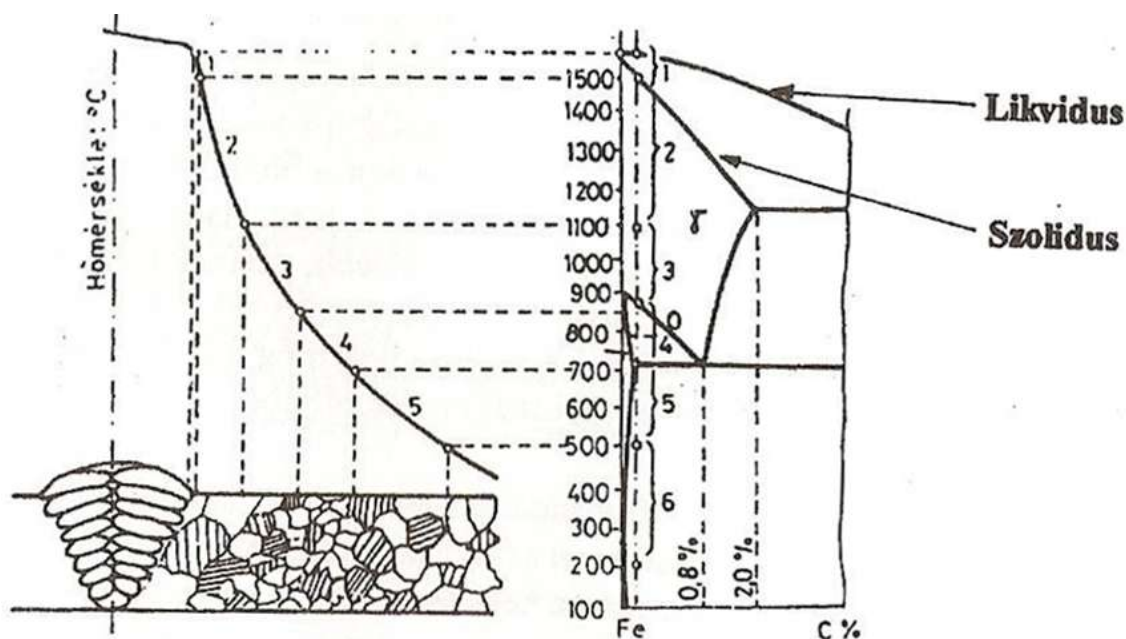
- Hipereutektoidos acél:

$$C_e = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+V}{5} + \frac{Ni}{15} + \frac{Mo}{4} + \frac{Cu}{13} + \frac{P}{2} + \frac{Si}{24} + 0,0024a$$

ahol a: anyagvastagsági érték (mm).

Az acélok bevont elektródos hegesztésekor megengedett karbon-egyenértékszám: C_e < 0,43

Hegesztéskor a hőhatásokban lejátszódó átalakulásokat szemlélteti a 9. ábra



Az övezetek jelölése:

1. nem teljes átolvadási,
2. durvaszemcsés,
3. finomszemcsés,

4. részben átkristályosodott,
5. újrakristályosodási,
6. kéktörékenységi

9.ábra A kézi villamos ívhegesztéssel készült kötés hőhatásövezete [9]

A hőhatásokban végbemenő átalakulások jellemzése ~ 0,45 % karbon tartalmú acél esetén, a 4. táblázatban található

4. táblázat A hegesztés hőhatás-övezetében végbemenő átalakulások (C ~ 0,45 %) [9]

9. ábra szerinti jelölés	Hőmérséklet (°C)	Kristály szerkezet	Hőövezet jellemzője
1.	1530	Nem teljes átolvadási övezet	A likvidusz és a szolidusz hőmérsékletek közé hevült anyagrészekben az un. nem teljes átolvadási övezetben folyékony és szilárd fázis egyaránt található. A varrat, az alapanyag csak részben megolvadt szemcséihez heged hozzá, miközben a szemcsék jelentősen durvulnak.
2.	1100-1486	Durvaszemcsés övezet	Az 1100 °C-tól a szoliduszig hevült anyagrészek jelentős szemcsedurvulást szenvednek. Ez a durvaszemcsés övezet, amelynek szívóssága az alapanyagéhoz képest kisebb, keménysége nagyobb. Általában ez a kötés legkritikusabb része. A hegesztéstechnológia kidolgozása során arra kell törekedni, hogy az övezet keménysége a 300...350 HB-t ne lépje túl, mert az ennél keményebb acélok csökkent szívóssága miatt jelentős a repedésveszély.
3.	760-1100	Finomszemcsés övezet	A kb. 760 °C fölé hevült, de 1100 °C hőmérsékletet el nem érő anyagrészekben, a hegesztés gyors hőciklusa alatt a szemcsék durvulása nem indul meg. Ez a finomszemcsés , vagy más szóval normalizált övezet, amelynek szívóssága a melegen hengerelt alapanyagénál általában jobb.
4.	723-760	Részben átkristályosodott övezet	760 °C és 727 °C közötti hőmérsékletre hevült anyagrészekben a perlitszemcsék ausztenitté alakulnak és az elért hőmérsékletnek megfelelően a ferrit oldódása is megindul. Ez azonban nem fejeződhet be. Ez az un. részben átkristályosodott övezet, amelynek keménysége és szívóssága az alapanyagétól lényegesen nem tér el.
5.	500-723 °C	Újrakristályosodási övezet	A 727 °C hőmérsékletet el nem érő anyagrészekben a keménység és a szívósság az alapanyagétól általában nem különbözik. Abban az esetben azonban, ha a legalább 500 °C-os hőhatás az ötvözetlen és a gyengén ötvözött acéloknál előzőleg 8...10 %-ban hidegen alakított anyagrészeket érint, jelentős szemcsedurvulásra és szívósságcsökkenésre számíthatunk. Ez az un. újrakristályosodási övezet.
6.	100-500 °C	Kéktörékenység övezete	A kb. 100...500 °C -ra hevült anyagrészek törésre fokozottan hajlamosak, mert az acélok képlékenysége ebben a hőmérsékletközben kisebb, mint szoba- hőmérsékleten. A hegesztés közben elnyelt gázt tartalmazó acélok ütőmunkája ebben az övezetben még tovább csökken és kritikussá válhat. Az ilyen hőmérsékletre hevülő acélok laboratóriumban vizsgált töret-felületén kék futtatási szín jelenik meg. Ezt az övezetet kéktörékenység_övezet nek nevezik.

Dinamikus igénybevételnek kitett acélok esetében igen fontos szerepe van a hegesztés utáni lehülési sebesség megválasztásának. Az 550 °C alatti hőmérsékleten keletkezett – ferrit, ausztenit – szövettípusok az egyensúlyi állapotnak felelnek meg. Az egyensúlyi állapot azonban csak nagyon lassú lehülés esetén, hosszadalmas idő alatt jön létre. Gyorsabb lehüléskor, másképpen folyik le az ausztenit átalakulása, s ennek megfelelően a szövettípusok is megváltoznak

Acélok esetében az ausztenites diffúziós átalakulása ferrit-perlites szövetszerkezetet eredményez. (lásd a 4. ábrát)

Nagyon gyors lehülés esetén a gamma-alfa átalakulás diffúzió nélkül, rácsszerkezet változással megy végbe. Ilyenkor nincs idő az oldott C-atomoknak az ausztenit rácsszerkezetéből való kiválására, a C-atomok beszorulnak az alfa-vas rácsába és túltelített szilárd oldatként martenzites szövetelem keletkezik. (10. ábra)



10. ábra Martenzit szövatképe [5]
(750 x)



11. ábra Bainit szövatképe [5]
(750 x)

A két szélsőséges eset között az ausztenit egy harmadik módon is átalakulhat, amikor a diffúziós úton képződött ferrit az egyensúlytól nagyobb mennyiségben old karbont, így ez a vas-karbid már nem Fe_3C összetételű. Ezt a harmadik úton képződött szövettípust bainitnek nevezik. A bainit szövetszerkezete a martenzithez hasonló, tűs jellegű szövetelem (11. ábra)

A bainit átmenet a perlit és martenzit között. A bainitben jelen lévő diszperz eloszlású karbidok nagy szilárdságot, rugalmasságot és szívósságot, így kedvező anyagtulajdonságot eredményeznek. Ezeket az előnyöket használják ki a 250 – 300 km/h vagy ettől nagyobb sebességű vonatok sínhálózatánál, ahol az EN 13674-1 sz. szabványban előírt igen nagy szakítószilárdság ($>1200 \text{ N/mm}^2$) illetve keménység ($>350 \text{ HB}$) elérése szükségessé teszi a bainites szövetszerkezet meglétét.

2.3. Az acélminőségek csoportosítása

Az acélkatalógusok több ezer acélminőséget különböztetnek meg nemzeti és nemzetközi szabványok vagy gyártócégek sajátos elnevezéseivel, betűjeleivel vagy számjegyeivel. Ezek között eligazodásra ma a legelfogadottabb az MSZ EN 10020-as szabvány [10], amely az acélok fogalom meghatározásával és csoportosításával foglalkozik.

A számos csoportosítási elv közül legelterjedtebb:

- gyártó eljárás szerint
- felhasználási cél szerint
- ötvözöttség mértéke szerint
- szövetszerkezetre vagy ötvözöttségre utalás szerint.

Gyártó eljárás szerint: bessemeracél, thomasacél, tégelyacél, martinacél, oxigénes konvertes acél, elektroacél, különleges eljárásokkal gyártott acél.

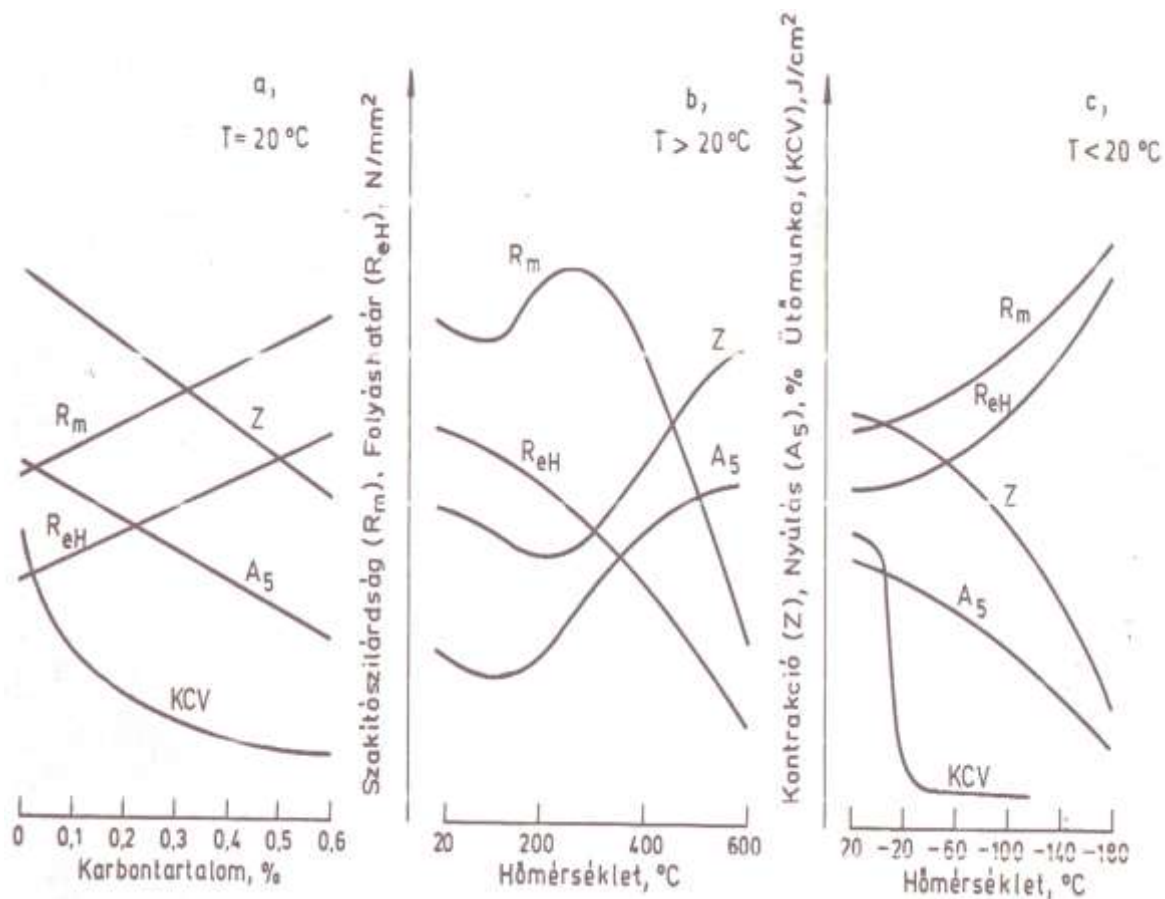
Felhasználás szerint vannak szerkezeti acélok, szerszámacélok és egyéb, különleges célokra felhasznált acélok (ld. 5. táblázat)

5. táblázat Felhasználás szempontjából legfontosabb acélfajták

Szerkezeti acélok	Szerszámacélok	Különleges acélok
Ált.szerkezeti acél Növelt folyáshatárú acél Betétben edzhető acél Nemesíthető acél Felületedzésű acél Kopásálló acél Csapágyacél Sodronykötélacél Betonacél Rúgóacél Automataacél Kazánlemezacél Csavaracél Sinacél Vasúti futóművek acéljai Hajólemezacél Mélyfűrési csövek acéljai Szerkezeti acélöntvényacél	Ötvözött szerszámacél Forgácsoló szerszámacél Melegszerszámacél Hidegszerszámacél Gyorsacél	Hőálló acélok Savállóacél Turbinaacél Szelepacél Nyomásállóacél Elektrotechnikai acél

A felhasználás szerinti másfajta csoportosítás: kereskedelmi (másnévvel alap) acélok, minőségi acélok, nemesacélok és egyéb speciális acélok.

A kereskedelmi- vagy alapacélok jellemzője, hogy szövetszerkezetük a melegalakítás és lehűlés folyamán spontán alakul ki (a hőkezelés nem követelmény). A feldolgozóipar rendszerint csak olyan tulajdonságokat követel tőlük, amelyek a karbontartalom szabályozásával könnyen teljesíthetők. Ezen ötvözetlen szénacélok is jelentősen változtatják mechanikai tulajdonságait a karbontartalom és a felhasználás hőmérséklete függvényében (ld. 12. ábra). Ebbe a csoportba tartoznak a kereskedelmi minőségű lemez- és alakos szelvényű acélok.



12. ábra Az ötvözetlen, 0,1-0,6 % C-tartalmú acél mechanikai tulajdonságainak változása a hőmérséklet függvényében

A *minőségi acélok* fontos és szigorúan megkövetelt használati tulajdonságaihoz tartozó szövetszerkezetét legtöbbször ötvözéssel és szükség szerint hőkezeléssel alakítják ki. Az MSZ EN 10020 szabvány elemenként megadja, milyen ötvözőtartalom jelent ötvözöttséget (6. táblázat), noha ennek definíciója nem egy egzakt összetételi határt jelent.

6. táblázat Az ötvözöttség minimum határa (tömegszázalékban) minőségi acéloknál [9]

Ötvözőelem	minimális %
Al	0,10
B	0,0008
Bi	0,1
Co	0,1
Cr*	0,3
Cu*	0,4
Rff (ritkaföldfém)	0,05
Mn	1,65
Mo*	0,08
Nb*	0,06
Ni*	0,30
Pb	0,4
Se	0,1

Si	0,5
Te	0,1
Ti [*]	0,05
V [*]	0,1
W	0,1
Zr [*]	0,05
Egyéb (C,P,S,N kivételével)	0,05

*más elemmel együtt a 70 %-a a limit

Az ötvözőelemek tulajdonságokra ható hatásairól az idők folyamán sokat megtudtunk, néhány kiemelt tulajdonságra vonatkozóan az egyes elemek hatásainak jellegét mutatja a 7. táblázat [11], azonban a nehézségeket az adja (s egyben a kohászat szépségét), hogy az egyes ötvözőelemek növekvő mennyiségükkel nem mindig egyenes arányban változtatják meg az egyes tulajdonságok értékeit, s általában az ötvözők hatásai sem összegeezhetők.

Ötvözetlen minőségi acéloknál előírt fontosabb minőségi követelmények: repedésmentesség, finom szemcsés szövetszerkezet, alakíthatóság. Ilyenek: hajóépítési acélok, horganyzott lemezek, kazánok és nyomástartó edények.

Ötvözött minőségű acélok csoportjába az 5. táblázatban közölt határértéktől nagyobb koncentrációjú ötvözőelemeket tartalmazó acélok tartoznak. Ilyenek pl.: hegeszthető finomszemcsés szerkezeti acélok, nyomástartó edények és csövek acéljai, elektrotechnikai acélok, ötvözött sínek és bányatámok acéljai, betétben edzhető acélok, szerkezeti- és gépacélok, korrózió- és hőálló acélok, szerszámacélok.

7. táblázat Az acélgártásban végzett ötvözések sajátossága

	FORRÁS			ÁLLAPOT			TULAJDONSÁGRA HATÁS					
	Metallurgiai céllal	Ötvözőként	Mikroötvözőként	Elemi	Keverékkristály	Vegyület	Folyáshatár	Szívósság	Edzhetőség	Melegalakíthatóság	Hidegalakíthatóság	Húzóhatóság
H			o	•	o			↓			↓	
B		•	•		•	•		↑	↑	↓		
C	•	•	•	•	•	•	↑	↓	↑	↑	↓	
N		•	o		o	•	↑	↓		↓	↓	
O	•		o			o		↓		↓	↓	↓
Al	•	•		•		•	↑	↑	↑	↓		↓
Si	•	•	•		•	•	↑	↓	↑		↓	↑
P		•	o		o	•	↑	↓			↓	↑
S		•	o	•		o		↓		↓	↓	↑
Co	•					•		↑		↑		↑
Ti	•	•			•	•	↑	↑	↓		↓	↓
V		•			•	•	↑	↑	↑		↓	↓
Cr		•	•		•	•	↑		↑	↓	↓	↓
Mn	•	•	•		•	•	↑	↑	↑	↑		↑
Cu		•	o	•			↑	↓	↑	↓	↓	
Ni		•	•	o		•	↑	↑	↑	↓		
As			o		o	•		↓		↓	↓	
Se		•			o	•						↑
Zr	•	•	•		•	•	↑	↑	↓		↓	↑
Nb		•	•		•	•	↑	↑	↓	↓	↓	↓
Sn			o	•			↑	↓		↓	↓	
Sb			o	•				↓		↓	↓	↑
Te		•			o	•				↓		↑
Ce	•				o	•		↑		↑		
W		•	•		•	•	↑	↓	↑	↓		↑
Pb		•	o	•						↓		↑
Bi		•		•						↓	↓	↑
Mo		•	•		•	•	↑	↑	↑	↓	↓	↓

Jelölések: • gyakran előforduló

° ritkán előforduló

↑ pozitív hatás várható

↓ negatív hatás várható

↑↓ mindkét irányú hatás lehetséges

A *nemesacélok* különleges fizikai és kémiai tulajdonságúak. Megfelelő szövetszerkezeteik aránylag sok (akár 50%-ig terjedő) ötvözőanyaggal, speciális melegalakítással és hőkezeléssel hozhatók létre.

Az ötvöztelen nemesacéloktól megkövetelik a minőségi acéloktól jobb acéltisztaságot, szigorított kémiai összetételt, jó edzhetőséget, kedvező ütőmunkát és a szabványokon túli – rendszerint rendelői „feltétfüzetben” rögzített – kritériumok teljesítését. Ilyenek pl. a minőségi acéloknál megjelölt előírásokon túlmenően a – 50 °C-on, V-bemetszésű próbán 27 Joule feletti ütőmunkát teljesítő acélok.

Az ötvözött nemesacélok az ötvözött minőségi acéloktól is szigorúbb előírású acélok. Ilyen követelmények: különleges gyártási feltételek (pl vákuumozás, elektrosalakos átolvasztás

stb.), reprodukálható kémiai összetétel, szigorított határokkal előírt tulajdonságok (szűkített Jominy-sáv, hideg nyírhatóság, zárványosság stb.). Ilyenek pl: a speciális korrózióálló acélok, golyóscsapágy- és szerszámacélok, speciális szerkezeti acélok, valamint különleges előírású jármű- és atomipar felhasználású acélok.

Az acélok ötvözésére használt fontosabb ötvözőanyagok felsorolása a 8. táblázatban látható.

8. táblázat Legelterjedtebb mikroötvöző- és ötvözőanyagok

Ötvözőelem	Ötvözőanyag	Megjelenési forma, méret (mm)	Ötvözőtartalom, (%)	Kísérő elem (%)
C	darabos koks, kokszpor, antracitpor, elektródátörmelék	Darabos, por	95-100	
Mn	FeMn	Darabosított, Ø ~ 40	70 – 78	C ~ 7
	FeMn affiné	Darabosított, Ø ~ 40	80 – 85	C ~ 1
	FeMnSi	Darabosított, Ø ~ 40	65 – 70	Si ~15 -20
Si	FeSi	Darabosított, Ø ~ 40	~ 45 vagy ~ 75	Al ~ 1
	CaSi	Darabosított, Ø ~ 40 vagy huzalban porként	60-65	Ca ~28-35
Al	Al	Tömbösített (10 – 18 kg/db)	98	Si ~ 1,5
	Al	Granulált, Ø ~ 3	98	Si ~ 1
	Al	huzal	~100	-
Cr	FeCr	Tört, darabosított 10 – 200	~ 70	C ~ 1,5
	FeCr affiné	Tört, darabosított 10 – 200	70 – 72	C ~ 0, 2
	FeCr karburé	Darabosított, Ø ~ 40	~ 65	C = 4 -7
Ni	Ni	Kocka(15–30), katód lemez	98	
Mo	FeMo	Darabosított, Ø ~ 30	60 – 70	
W	FeW	Darabosított, Ø ~ 30	60 – 70	
V	FeV	Darabosított, Ø ~ 30	65 – 80	
Ti	FeTi	Darabosított, Ø ~ 40 Porbeles huzal	~ 30-45	Si = 5 -10; Al = 2 -3
Zr	FeZr	Darabosított, Ø ~ 40 Porbeles huzal	~30-32	
Co	Co	granália	~98	
S		Por, porbeles huzal	90	
P	FeP	Darabosított, Porbeles huzal	~25	
Ta	FeNbTa	Darabosított, Ø ~ 40 Porbeles huzal	~30-32	
Nb	FeNb	Darabosított, Ø ~ 40 Porbeles huzal	~50	
B	FeB	Porbeles huzal	~10	
Rff	mischmetall	Darabosított, Porbeles huzal	~50-90	

Ötvözöttség mértéke alapján megkülönböztethetők ötvözetlen acélok, gyengén ötvözött acélok (legfeljebb 5 % ötvözőelemmel), közepesen ötvözött acélok (5-10 % ötvözőelemmel) és erősen ötvözött acélok (10 %-nál több ötvözővel). Az ötvözetlen és gyengén ötvözött acélok közé sorolhatók be a mikroötvözésű acélok; ezek kitűnő használati tulajdonságaikat a néhány ppm-től legfeljebb egy-két tizedszázalékban jelenlévő ötvözőktől (V, Ti, Nb, Zr, Al, B, Bi, Te stb.) kapják.

A szakirodalomban gyakran neveznek el acélokat *szövetszerkezetre vagy ötvözőelemre való hivatkozással* is. Pl. perlitmentes acél, perlitszegény acél, perlites acél, ferrites acél, ausztenites acél, bainites acél, martenzites acél, DP (Dual Phase) = kettős fázisú, ferritbe ágyazott martenzites acél. HSLA (High Strenght Low Alloy) = nagy szilárdságú gyengén ötvözött, mikroötvözőket is tartalmazó acél. ULC (Ultra Low Carbon) = nagyon kevés kARBONT tartalmazó acél, IF (Interstitial Free) = az α -Fe rácsba intersztíciósan beépülő elemtől (C-tól és N-től) gyakorlatilag mentes acél. BH (Bake Hardening) = a lakkbeégetés 180-200 °C hőmérsékletén keményedő acél, P-al , S-nel ötvözött ,forgácsolhatóságot megkönnyítő acél, Si-nélküli csillapítatlan acél, Si-szegény, Al-mal csillapított acél stb. Mindezeknek az acéloknak megvannak a maguk speciális felhasználási területeik.

*

Az MSZ EN DIN 10020-as szabvány több ezer acélminőséget csoportosít. Mindegyik acélminőséghez tartozik egy-egy acélminőség megjelölés (egy minőségjel). A 9. táblázat egy példa a különböző – hazánkban is korábban vagy ma gyártott – acélminőségek csoportba sorolására.

9. táblázat Példa a különböző acélminőségek csoportosítására [10]

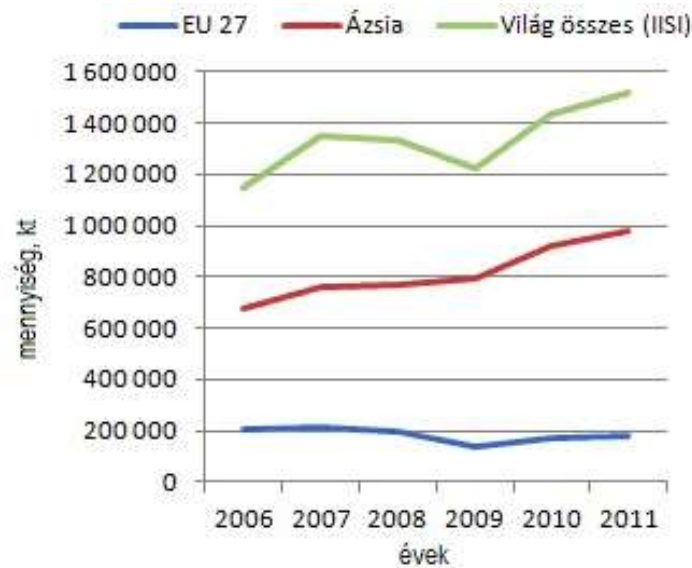
Minőségi kategória	Minőségjel [*]
Kereskedelmi vagy <i>alapacél</i>	A34B, RSt37-2, stb
Ötvözetlen <i>minőségi</i> acél	C10,C15,C25,St44-2,GR60,D10Z,Mn1, stb
Ötvözött <i>minőségi</i> acélok	ABS1,9SMn28,41Cr4,CrV3,60SiMn5, stb
Ötvözetlen <i>nemesacélok</i>	52C,C45,MA1,St52-3,52E,CM50MV, stb
Ötvözött <i>nemesacélok</i>	AISI4130,16MnCr5,ZF6,100Cr6,100CrMo73, stb

* A minőségjelek a szabványok időszakos átalakítása során változhatnak

3. SPECIÁLIS ACÉLOK GYÁRTÁSÁNAK METALLURGIAI SZEMPONTJAI

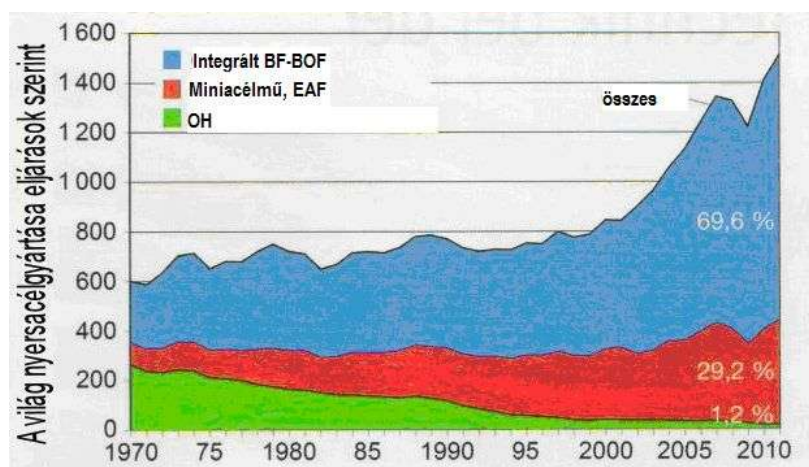
3.1. Az acélgyártó vertikumok változása terén érzékelhető tendenciák

A világgazdaságban 2008-ban bekövetkezett gazdasági válság hatása az acélipart is erősen érintette. Ez főleg az EU acéliparának jelentős visszaesésében mutatkozott meg, Ázsia acéliparában csak a növekedési ütem lassult (13. ábra)



13. ábra A világ acéltermelése

A világ acéltermelésén belül mára az arány kissé eltolódott a konverteres acélgyártás irányában, az összes acél mintegy 2/3-a integrált acélművekben gyártódik, 1/3-a elektroacélművekben (14. ábra)



14. ábra A világban üzemelő integrált- és mini acélművek kapacitásmegoszlása

Az integrált acélművekben történő konverteres acélgártás ill. az elektroacélgártás fő jellemzőinek az összehasonlítását a 10. táblázat [12] szemlélteti.

10. táblázat A mai hagyományos konverteres acélgártás ill. ívfényes elektroacélgártás fő jellemzőinek összehasonlítása.

Jellemzők	Konverteres acélgártás	Ívfényes elektroacélgártás
Betétanyagellátás hozzáférhetőség minőség ár	jó jó stabil	változó romló emelkedő
Rugalmasság tételméret, választék időleges leállás	gyenge rossz	jó jó
Minőségi korlát	Nincs (üstmetallurgiával)	Kis szennyezőtartalom esetén
Környezetszennyezés szennyező technológiák megoldás költsége	zsugorítás, koksizálás, nyersvas-ésacélgártás nagy	acélgártás mérsékelt
Költségek beruházási üzemelési	nagy mérsékelt	mérsékelt hulladékfüggő
Tipikus kapacitás Tipikus termék	3-4 Mt/év lapos	0,3-1 Mt/év hosszú
Gyenge pontok	rugalmatlanság környezetszennyezés nagy beruházási költség	Betétanyag minősége Nagytisztaságú acélok gyártása Hulladéktól függő üzemelési költség

3.2. Speciális minőségű acélok gyártástechnológiája

A speciális acélminőségek gyártásánál az olvasztási, dekarbonizálási és foszfortalanítási technológiai folyamatokat az acélhulladékon alapuló UHP ívkemencében és/vagy a folyékony nyersvason alapuló LD-konverterben, a dezoxidálási, kéntelenítési, zárványtalanítási, homogenizálási folyamatokat pedig az üstkemencében végzik [13-15]

A korszerű olvasztó berendezéseknél általában van lehetőség az oxidsalak visszatartására (pl. UHP ívkemencéknél: excentrikus fenék- vagy szifonos csapolás; konvertereknél: salakzárás). A csapolásnál keletkező turbulencia, kedvező keverési feltételeket biztosít az ötvözésre, dezoxidáló anyagok és kéntelenítő (szintetikus) salakok hozzáadására [14].

Sok acélfajtának, mint a különleges tisztaságot követelő járműipari acéloknak, golyóscsapágyacéloknak és a kovácsolásra kerülő acélminőségeknek, csak rendkívül kis mértékben szabad tartalmazniuk szennyező elemeket, hidrogént, oxigént. Ezek gyártása vákuumos kezelést igényel. Az eljárást hazánkban elsőként vezette be a Csepeli Acélmű 1963-ban -négyéves kísérleti szakasz után- üzemi technológiaként. A korrózióálló acélok gyártásánál vákuum-oxigénes dekarbonizáló (VOD) berendezés segít az igen kis karbon-tartalom elérésében, nagy krómkihozatal elérése mellett.

Az üstkemencében az acélfürdő feletti gáztérfogat viszonylag kicsi, a kemencetető megvédi a folyékony fürdőt a környező atmoszférától. Az üstkemencén belüli atmoszféra közel semleges

tulajdonságú, főleg CO-ból és a fűdőt keverő gázból áll. A semleges gázzal történő agitálásra, keverésre argont, néha nitrogént használnak. A keverés intenzív érintkezést biztosít a folyékony fém és a salak között, elősegítve ezzel a dezoxidálási, kéntelenítési folyamatokat és az egyenletes hőátadást.

A felhasználók (vásárlók) arra kényszerítik az acélgyártókat, hogy nagy összetétel pontosságú, reprodukálható összetételű acélokat szállítsanak. A hosszú távú együttműködés megalapozása érdekében, több száz adagnál kell a gyártónak bizonyítania a minőség azonosságát, a reprodukálhatóságot.

A minőségi- és nemesacélgyártók az acélminőségek nagy változatát, a rendelésektől függően kisebb-nagyobb mennyiségben gyártják. Előfordul olyan eset, amikor egy speciális minőséget egy hónapban egyszer vagy még ritkábban rendelnek meg a vevők, mégis minden termelő berendezésnek rendelkezésre kell állni a gyártás idejére. Bonyolítja a helyzetet, hogy a rendelés sokszor nem egy, hanem több szelvényméretet tartalmaz. Az ilyen vagy ehhez hasonló esetek (pl. egy adott minőségnek több feltétfüzeti előírásnak kell megfelelnie) megoldásához számítógéppel tervezett „Gyártási Napló”-ra, és termelési programra van szükség.

Vákuumos kezeléssel lokalizálni lehet a káros hidrogén és nitrogén gázok mennyiségét azzal, hogy az acélban oldott gázok parciális nyomásának csökkentésével segítik az oldhatósági egyensúly elérését, ezzel a gázok koncentrációjának csökkentését, valamint a hevítéses kezeléssel el nem távolított, igen kisméretű oxid-zárványok salakba vitelét. A hatékonyság javítására vákuumozás közbeni, semleges gáz és/vagy indukciós örvényáramú acélkeverést is alkalmaznak.

Ugyanezt az elvet használják fel az igen kis karbon tartalmú acélfajták vákuum alatti oxigénes frissítéssel történő gyártásánál.

A metallurgiai eredményeken túl a gazdaságossági kérdéseket is vizsgálni szükséges. Ennek súlyponti részét képezi a megrendelt acélminőség technológiai folyamatútjának megválasztása. Ezért a termelési program színvonalának javításához, a nagyobb mennyiséget megrendelő cégekkel folyamatos kapcsolattartás, és együttműködés szükséges. Törekedni kell a „palettás” rendelés vállalás elérésére, amelynél a vevő, a tömegacél rendelésén túlmenően, biztosítja az értékesebb, nagyobb fedezetű acélfajták vásárlását is.

Mindezek ismeretében tekintsük át a fontosabb acéltípusok (11. táblázat) gyártásának metallurgiai illetve technológiai folyamatait.

11. táblázat Fontosabb acélminőségek rövid jellemzése

Acélminőség-csoport	Ismertebb márkajelek	Speciális felhasználói igények	Acélminőségi előírások	Gyártási specializációk
Alapacélok	B60.40, RSt37-2	nincs		Primerkemencéből csapolás
Növelt folyáshatárú, jól hegeszthető acélok	RSt52-3	Növelt folyáshatár, jó hegeszthetőség	$R_m \sim 900 \text{ N/mm}^2$, $R_m/R_{eH} < 80$ Ferrit-perlites szövetszerkezet	EAF/LD + Ar injektálás

Betétben edzhető acélok	16MnCr5 ZF 7B	Szívós magú, nagy felületi keménység	Szűkített Jominy- sáv	EAF/LD + Kom- binált üstmetallur- giai kezelés
Nemesíthető acé- lok	42CrMo4	Finom szemcsé- zettség, nagy belső tisztaság	Auszténit szem- nagyság: 5-8 DIN 50602 szárványtisztaság: $K_3 < 5$; $K_2 < 1$	EAF/LD + Kom- binált üstmetallur- giai kezelés
Automata és jól forgácsolható acélok	10S20	Jó forgácsolhatóság	Rövid hosszúságú, gyorsantörő for- gácsképzés	Hagyományos Pb, Te ötvözők tiltása miatt, egyenértékű (pl. Bi) mikroötvöztetés
Sinacélok	900A	Növelt ke- ménység és kopásállóság élettartósság	$R_m \sim 900 \text{ N/mm}^2$, Keménység: >280 HB Törési szívósság: > 1400 N/mm ²	EAF/LD + Kom- binált üstmetallur- giai kezelés
Korrózió- és hő- álló acélok	KO41	Kristályközi korrózió men- tesség	Auszténit szövet- szerkezet: 100 % ELC minőség (C < 0,02 %)	AOD, CLU, VODK, VOD gyártás
Szerszám- és gyorsacélok	R ₂	Kiváló éltartósság, (meleg) keménység, nagy vágási sebesség	Finom eloszlású, martenzitbe ágya- zott Cr, Mo, W, V karbidos szövetszerkezet	EAF (+ elektrosalakos átolvasztásos)
Csapágyacélok	100Cr6	Nagy belső tisztaság, nö- velt kifáradási határ, egyenle- tes karbidel- oszlás	Karbidosság: SEP 1520 szerint: Nagyság: 2,0 Sorosság: 6,3 Háló: 5,1	EAF/LD + Kom- binált üstmetallur- giai kezelés

3.2.1. Általános acélgyártási technológia tervezése

Az acélok gyártása az üzem által készített és hivatalosan jóváhagyott „Általános gyártástechnológiai utasítás” szerint történhet (ezek egy-egy üzem minőségbiztosítási kézikönyveinek részei).

Az általános érvényű technológia magába foglalja a primer olvasztó berendezésre, üstmetallurgiai egységekre, tuskó és/vagy folyamatos öntőműre vonatkozó általános követelményeket. Az összeállítás vázlatos felépítése:

Primer olvasztó berendezések

- Általános követelmények
 - Kommunikációs lehetőségek,

- Technológiai egységek közelében lévő veszélyhelyzetek
- Védőfelszerelési előírások, stb.)
- Rendkívüli esetekben történő intézkedések
- Személyi feltételek
- Termelő és kiszolgáló berendezések főbb műszaki paraméterei
- Gyártástechnológiai leírás
 - Beadagolandó betét összeállítás számítása, előkészítése
 - Kemencébe rakás
 - Beolvasztás
 - Kikészítés
 - Csapolás
 - Tűzálló falazat adagközi karbantartása
 - Kemence tartozékok ellenőrzése

Üstmetallurgiai berendezések

- Az adag fogadása
 - Szerelvények csatlakoztatása,
 - Oxidsalak (esetleges) eltávolítása
- Hevítőállási műveletek előírásai
 - Hőmérséklet mérés
 - Acél-, salak- és gáz-mintavétel
 - Salakképzés
 - Acélfürdő keverés
 - Dezoxidálás
 - Ötvözés
 - Kéntelenítés
 - Mikroötvözés
 - Összetétel beállítás
 - Homogenizálás
 - Hőmérséklet és végösszetétel ellenőrzés
- Vákuumozási műveletek előírásai
 - Vákuumozó berendezés szerelvényeinek csatlakoztatása
 - Vákuum létesítése és min. 10 percig, max. 3 torr alatti nyomás fenntartása
 - Acélfürdő mozgásának (kamerával) figyelése, a keverési intenzitás szabályozása
 - Vákuumozás utáni hőmérséklet és végösszetétel ellenőrzés
 - Porbeles huzalos Ca-modifikálás (esetleges jelleggel)
 - „Zárványtisztító Ar lágyöblítés
 - Hőmérséklet és végösszetétel ellenőrzés

Öntőberendezések

Tuskóöntés

- Kokillák előkészítése, alsó és/vagy felső öntéshez beállítása

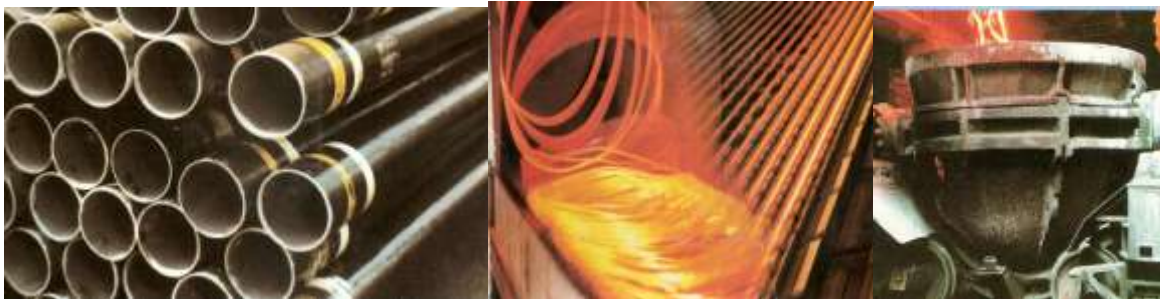
- Öntés lefolytatása (öntési sebesség, öntőpor adagolás)
- Végpróba kivétele
- A felöntésbe érő folyékony acél exoterm fedő(lunker)poros kezelése
- Az acél kokillában való megszilárdulási idejének meghatározása a hengerműbe való melegbeadás, vagy kokillában való lehűlés esetére
- Az acéltuskók kokillából való kiszabadítása, rendeltetéstől függő elszállítása

Folyamatos öntés

- Öntőgép típusa, főbb műszaki paraméterei
- Öntőgép szerkezeti egységei
- Öntőgép, közbensőüst és kristályosító berendezések előkészítése öntéshez
- Kokillaszelvény és acélminőség szerinti öntési hőmérséklet, öntési sebesség, metallurgiai hossz előírásai nyitott- vagy zártöntés esetére
- Az acél fogadása egyedi- vagy szekvens-öntés esetén
- Öntési sugárvédelem
- Öntés lefolytatása manuális vagy automatikus öntési mód esetén
- Öntés közbeni acél-, salak- és gáz mintavétel
- Öntött buga darabolás bélyegzés, tárolás vagy keszonos-visszahűtés
- Öntött bugák minőségellenőrzése és bizonylatolása

3.2.2. Alapacélok metallurgiája

Az általános rendeltetésű szerkezeti acélok (alapacélok) LD- konverterben vagy UHP ívkemencében közvetlen úton is gyárthatók. Felhasználásukra mutat be példát a 15. ábra.



15. ábra Alapacélokból készült termékek

Az LD-eljárást elsősorban a nagy tömegben gyártott alapacélok (pl. cső-, beton acélok, különféle profilú tartók, nagyméretű öntvények) gyártására dolgozták ki 1952-ben.

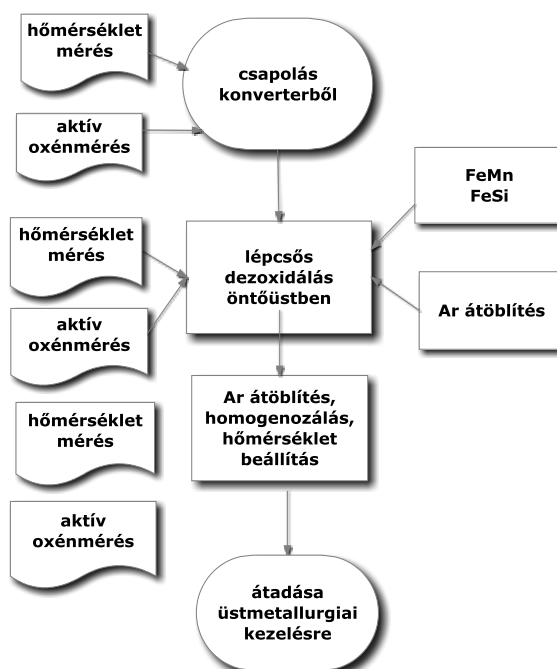
LD-eljárásnál az acélfürdőre fúvatott oxigén közvetlenül hat a fémfűrdőre. Ezen a helyen az ívfényes kemencéhez hasonló hőmérséklet uralkodik, így adott a reakcióképes salak keletkezésének a feltétele. A foszfortalanítás a fúvatással egyidejűleg elkezdődik, majd a C, Si, Mn oxidációja – más energia bevitel nélkül – biztosítja az eljárás energia igényét.

Hasonlóan megfelel az UHP ívkemencében – mint primer acélgyártó kemencében – gyártott acélok minősége az alapacélokkal szemben támasztott kívánalmaknak.

A kétféle primer acélgyártás ismertetését a *konverteres acélgyártás* ill. az *elektroacélgyártás* jegyzetek tartalmazzák. Jelen jegyzetben a gyártási folyamatok példaszerű ismertetésére szorítkozunk egy kiemelt alapacél, az RSt37-2 jelű acél gyártására vonatkozóan.

3.2.2.1. RSt37-2 jelű acél gyártása LD-konverterben.

A direkt (primer) acélgyártás általános technológiai folyamatát LD-konverternél a 16. ábra szemlélteti.



16. ábra Primer acélgyártás LD-konverterben

Az alapacélok primergyártására legjobban jellemző RSt 37-2 jelű acélminőség gyártástechnológiai műveletei – egy konkrétan legyártott adag eredményeit felhasználva – a következőkben foglalhatók össze.

- Acélminőség: RSt 37-2
- Kémiai összetétel előírás (%):
C: 0,09 – 0,14;
Si: 0,15 – 0,35;
Mn: 0,45 – 0,60;
 $P_{\max}$ 0,045.
 $S_{\max}$: 0,045
- Előírt csapolási hőmérséklet (°C): 1650
- Technológiai folyamatút: LD → $\ddot{U}st_{Ar}$ keverés → Folyamatos öntés: nyitott vagy zárt
- Betét összeállítás alapadatai:
 - Termelő berendezés névleges kapacitása: 130 t
 - Tervezett bruttó betét mennyiség: ~150 t
 - Nyersvas összetétel (%): C: 4,21; Si: 0,87; Mn: 0,82
 - Nyersvas hőmérséklet (°C): 1310
- Számított betét:

- Acélhulladék: 39 t
- Folyékony nyersvas: 111 t
150 t
- Konkrét technológiai műveletek:
 - Fúvatás utáni kémiai összetétel ellenőrzés (%): C: 0,042;
Mn: 0,17;
P: 0,008;
S: 0,015
 - - Hőmérséklet ellenőrzés (°C): 1670
 - - Csapolás közbeni ötvözés, dezoxidálás: koks: 40 kg;
FeMn: 610 kg;
Si: 550 kg;
Al_{fém} : 195 kg)
 - (FAM zárt öntés esetén:
 - Argon gázos keverés és Ca-modifikálás az üstben: csapolás közben és utána min 5 perc
 - Az adag öntésre átadása.

3.2.2.2. Primer acélgyártás UHP ívkemencében.

- Acélminőség: RSt 37-2
- Kémiai összetétel előírás (%): C: 0,09 – 0,14;
Si: 0,15 – 0,35;
Mn: 0,45 – 0,60;
P_{max} 0,045.
S_{max} : 0,045
- Előírt csapolási hőmérséklet (°C): 1650
- Technológiai folyamatút: UHP → Üst_{Ar} keverés → FAM: nyitott vagy zárt
- Betét összeállítás alapadatai:
 - Termelő berendezés névleges kapacitása: 80 t
 - Tervezett buttó betét mennyiség: ~92 t
 - Számított fémes betét: 11. táblázat szerint

11. táblázat Betétszámítás

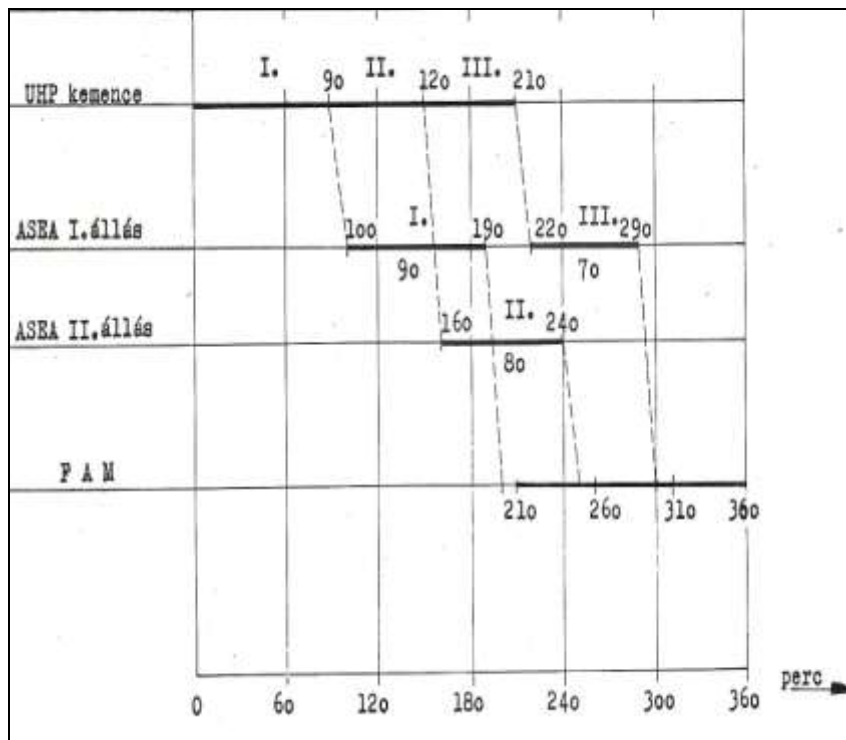
Betétalkotók	kg
Nehéz acél hulladék	77500
Szilárd nyersvas	12500
FeMn	500
FeSi	550
Al _{fém} , csak FAM _{zárt} esetén	80
Koks	150
Égetett mész	5000

– Technológiai folyamat:

- A gyártandó acél kémiai összetételének és a rendelkezésre álló acélhulladék méretének és tömegének függvényében elvégzik a betétszámítást és két vagy több adagolókosárba rakják az acélhulladékot, hozaganyagot és a szükséges karbonizáló anyagot.
- A hulladékos kosarat daru segítségével, a kemencetető kifordítása után, az UHP kemence fölé szállítják és az adagolókosár fenék részének mechanikus nyitásával a betétanyagokat a kemencébe süllyeszti.
- Az ezt követő olvasztási periódusban, az acélhulladék és elektródok között kialakult elektromos ív sugárzó hőjével és a kemence (oldal)falába beépített földgáz-oxigén-karbon szuper égőkkel kb. 1580 °C hőmérsékletű folyékony-acélt állítanak elő és a kémiai összetétel meghatározására mintát vesznek..
- Az elemzési eredmények ismeretében történik a fürdő dekarbonizálási, defoszforizálási művelete, melyet fogyólandzsás oxigén + kokszipor befúvatással, újabban oxigén-földgáz- kokszipor szuperégőkkel végeznek.
- A befúvatott poralakú karbonhordozó anyag (elektród-örlemény, kokszipor) és a CaO tartalmú folyékony salak hatására *habos salak* képződik. A habos salak feladata a frissítési folyamat alatti gáztalanításon túlmenően, az acél szennyező-elemeinek csökkentése és egyben a kemence oldalfalának védelme a sugárzó hőtől. Az acéltisztaság növelését és homogenizálását, a fenékbe épített porózustéglán keresztül, semleges gáz (Ar, N) áramoltatásával segítik.
- A frissítési folyamat alatt képződő habos salakot, a kemence küszöbén át a salaktálba folytatják. A számított oxigénmennyiség befúvatását követően mintavétel és hőmérsékletmérés következik. A kapott eredményektől függően vagy folytatódik a frissítési művelet, vagy ha az acélfürdő hőmérséklete és kémiai összetétele megfelel az előírásoknak, salak visszatartásos módszerrel lecsapolják az adagot az üst(kemence)be. Csapolás közben elődezoxidálást, ötvöztetést és szintetikussalak adagolást végeznek.
- Ezzel a direkt acélgyártás befejeződött, az adag argonos átöblítést követően öntésre adható.

*

Abban az esetben, ha az alapacél kategóriájú acélnál, a rendelők különleges minőségi követelményeket (pl zárvány tisztaság) is megjelölnek, vagy ha a szekvens-öntési ciklusidők tartása érdekében az adagot várakoztatni kell, *az adag kezelése hevítéses kezeléssel bővíthető*. Utóbbi megoldásra mutat be példát a 17. ábra, ahol egy 3-adagos szekvens-öntésnél a FAM 50 perces ciklusidejének tartását, két hevítőállás igénybevételeével oldották meg.



17. ábra Alapacélok hármasszekvens-öntésének idődiagramja

3.2.3. Speciális acélminőségek metallurgiája

3.2.3.1. Növelt folyáshatárú, jól hegeszthető acélok

Az acélvázak minőségi elvárása elsősorban a nagy tömegű szerkezeti elemek kiváltására irányult, jobb minőségű, anyag- és energiatakarékos technológiával előállított, könnyített kivitelezésű szerkezet elemek előállításának megoldásával. A megoldást a nagy folyáshatárú, finomszemcsés jól hegeszthető acélminőségek kifejlesztése jelentette [16].

Az acélvázak épületeket, építményeket két csoportra lehet felosztani: felhőkarcolókra (18. ábra), toronyszerkezetekre (19. ábra) és a könnyített alátámasztásos nagy belterületű arénákra, stadionokra (20-21. ábra).



18. ábra Chicagóban épült Sears Tower nevű acélvázás felhőkarcoló (1974: 443 m) [15]



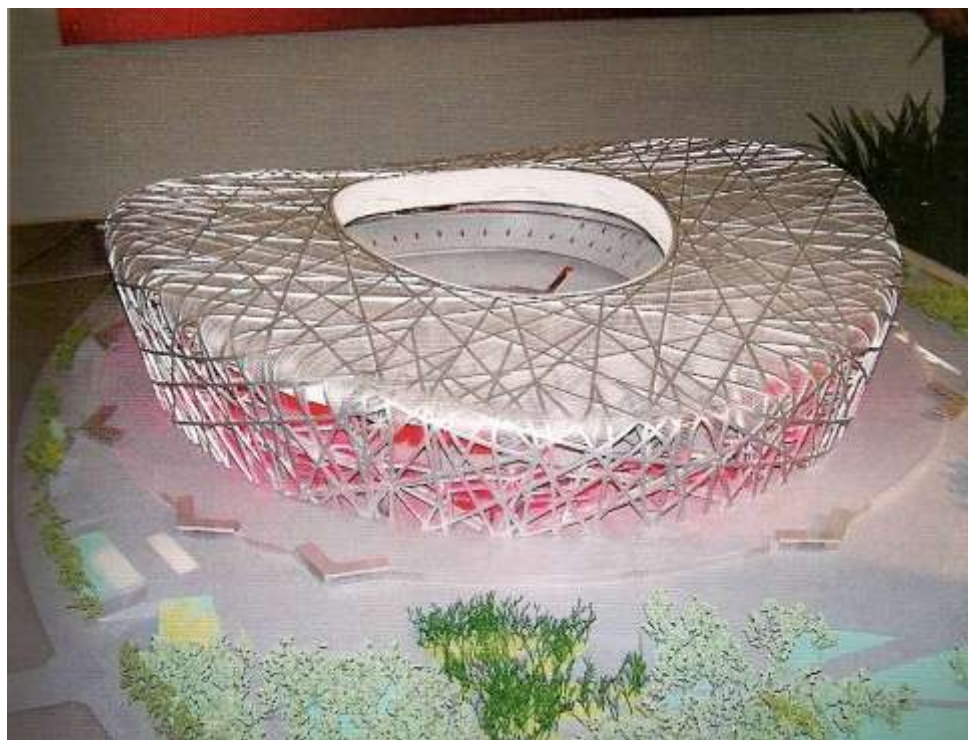
19. ábra MAN által épített luxemburgi nagyolvasztó, léghevítőkkel [16]

Hasonló elvárások jelentkeztek a hidak, hídszerkezetek építésénél. Az erre a célra kifejlesztett mikroötvözött acélok alkalmazásával, sikerült olyan hídszerkezeteket építeni, ahol a közbelső alátámasztás helyett függővázas szerkezeteket építettek. Ezt szemlélteti a 20. ábra. A híd tömege: 1021 t, hossza: 235 m.



20. ábra Németországot és Franciaországot, Weil és Rhein városokat összekötő, asszimmetrikus függesztésű, acélvázás folyami híd [17]

Az építészek fantasztikus ötletét valósították meg Kínában, a Pekingi olimpia céljára felépített stadionnal (21. ábra). A hengerelt növelt folyáshatárú acélvázakból olyan hegesztett, alátámasztás nélküli, a tér minden irányába hajló hegesztett vázszerkezetet alakítottak ki, ami a legnagyobb földrengéseknek is ellenáll. Az öt év alatt épített, 330 m hosszú, 220 m széles, 70 m magas, 204 000 m² hasznos alapterületű, 91 000 nézőt befogadó építményhez, 45 000 t nagy szilárdságú, növelt folyáshatárú, jól hegeszthető acélt használtak fel.



21. ábra A pekingi „madárfészek” olimpiai stadion modellje [18]

A növelt folyáshatárú, jól hegeszthető acélok hasonlóan nagy felhasználója a gépjárműipar. Erre mutat be példát a 22. ábra, ahol egy személygépkocsi vázszerkezetet látható.



22. ábra Személygépkocsi acélszerkezete [19]

*

A könnyített szerkezetek követelményei közül az összetételi előíráson túlmenően, a mechanikai előírások a mérvadóak, mivel felhasználhatóságuk elsősorban a szakítószilárdság-, folyáshatár-, hajlító-vizsgálatoktól függ.

A különleges szerkezetekhez, berendezésekhez növelt folyáshatárú, jól hegeszthető, finomszemcsés acéloknak a nagy folyáshatáron és jó hegeszthetőségen felül az alábbi követelményeket is ki kell elégíteniük:

- kis átmeneti hőmérséklet, ridegtöréssel szembeni ellenállás,
- hossz- és keresztirányú ütőmunka negatív (-20 °C és -50 °C) hőmérsékleten.

Ezek az acélok olyan szavatolt átmeneti hőmérsékletű melegen hengerelt lemezek, rúd- és idomacélok, valamint kovácsolt acélok, melyeket sarkvidéki hegesztett acélszerkezetekhez, hajólemezekhez, nyomástartó edényekhez, tartályokhoz, gázpalackokhoz, nyomásálló csővezetékekhez, rácsos daruszerkezetekhez, acélvázak stadionokhoz, magas építményekhez alkalmaznak.

*

Növelt folyáshatárú acélok kifejlesztésének kezdeti stádiumában (az 1960-as években), Mn, Ni, Mo, Cu ötvöztetést alkalmaztak. A rézütvöztetés kivételével javultak az eredmények, de nagy költség igényük miatt, más megoldásokat is kerestek. Így jutottak el az 1970-es években, a mikroötvöztetéses acélmétallurgia továbbfejlesztésére, mellyel kimagasló eredmények születtek. Legtöbbször V, Ti, Zr, Al, Nb mikroötvöztetőket, és a nitridképző elemek megkötésére nitrogén gázbefúvatást, vagy nitrogén tartalmú ferroötvöztetőket alkalmaztak [20].

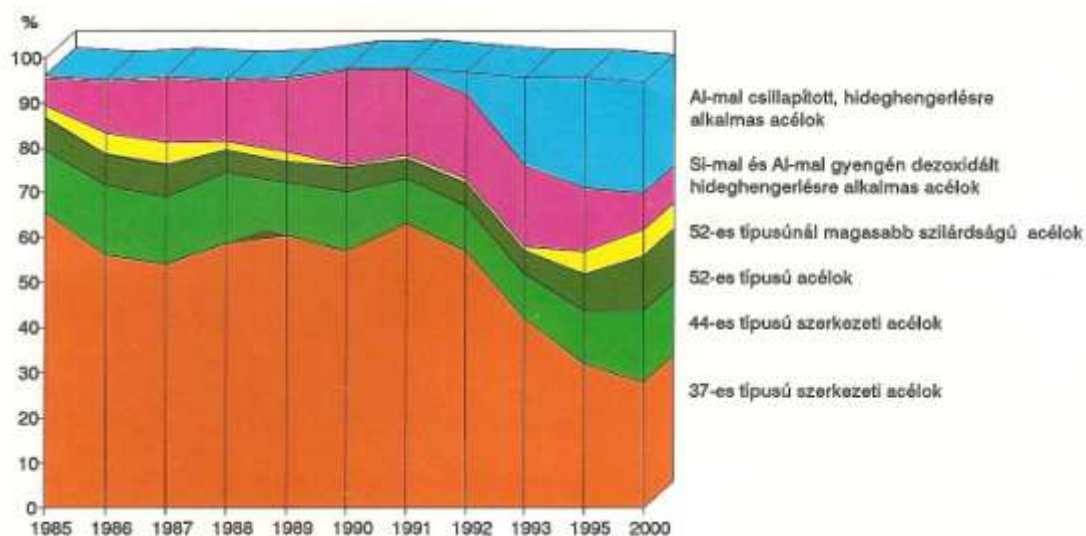
Mikroötvöztetőket is tartalmazó acélban az átalakulás terméke – az acél felhasználásához igazodó arányokban – ferritből, perlitből, cementitből és más kiválásokból (karbidokból, nitridekből) állhat. A szilárdság és főként a rugalmassági határ kedvezően növelhető, ha a

szövetben megjelenik a bainit, pl. kevés Mo ötvözés hatására. Az átalakult termékek között lehet martenzit 723 – 911 °C hőmérséklet határok között, de az ausztenitből és ferritből álló szövet gyors hűtésének (edzésének) eredményeképpen ferrit-martenzites kétfázisú szövet, keletkezhet, amely különleges mechanikai tulajdonságot kölcsönöz az acélnek.

Ha az acél tartalmaz Al, Ti, V, Nb, illetve, N mikroötvözőket, azaz karbid- és nitridképző elemeket, akkor a létrejövő karbid-, nitrid- vagy karbo-nitrid kiválások a mátrixba ágyazódva befolyásolhatják az acél tulajdonságait. A különféle kiválások az alkalmazott mikroötvözőkre jellemző hatást váltják ki, így pl. az Al, V esetében szemcsefinomság, B-nál az edzhetőség, Ti, Nb mikroötvözésnél a szívósság javulásával számolhatunk.

A növelt folyáshatárú, jól hegeszthető acélok elterjedésében az 1990-es években vezető szerepet kapott az St 52-3 jelű acélminőség [21]. A Dunaferriben ezeket az acélokat elsősorban hajó-, kazán- és tartálylemez gyártására fejlesztették ki.

Hazai viszonylatban ki kell emelni a DUNAFERR által a mikroötvözött acélok gyártásában elért eredményeket [21]. A hajó-, kazán- és tartálylemez gyártására fejlesztették ki, az 52-es minőség típusba sorolt, növelt folyáshatárú, jól hegeszthető acélok részesedése jelentősen eltolódott mára, a 37-es típusú acélok kezdik jelentőségüket veszteni, míg az Al-mal csillapított, hideghengerlésre is alkalmas acélok iránti igény évek óta tartósan magas (23. ábra). A Csepeli Acélműben kiváló eredményeket értek el a mikroötvözött nagyobb szilárdságú olajbányászati cső-alapanyagok előállításában [67].



23. ábra Növelt folyáshatárú, jól hegeszthető acélok részaránya [21]

Gyártástechnológia

A növelt folyáshatárú, jól hegeszthető, finomszemcsés, acélok gyártása – a rendelésben előírt minőségi követelmények függvényében – a az alábbi technológiai útvonalakon történhet:

- EAF/LD → Üstkezelés ($Ar_{injektálás}$) → FAM_{nyitott öntés},
- EAF/LD → Üstkezelés ($Ar_{injektálás}$) → FAM_{zárt öntés}

c.) EAF/LD → szekunder kezelés (hevítés + Ar_{injektálás}) → FAM_{zárt} öntés

A technológiai variánsok közül a DUNAFERR inkább az a.) és b.) variációkat alkalmazza, míg Diósgyőri inkább a c. variáció nyert létjogosultságot.

Egy St 52-3-E jelű, diósgyőri Ti-mikroötvöztetésű adag gyártását – annak alapanyag – szükségletét – mutatja a 12. táblázat [22].

12. táblázat Ti-mikroötvöztetésű St 52-3-E jelű acéladag alapanyag szükséglete

Acélműi minőség:			St52-3		~ 6		Hulladékesoport Cu tartalom alapján:						2			
Acélműi technológia:									Hozaganyagesoport:						1	
C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %	Ni %	Mo %	V %	Cu %	Al %	Sn %	As %	Nb %			
0,19	0,25	1,40	-	0,020	0,15	0,00	0,00	0,00	-	0,020	-	-				
0,22	0,40	1,60	0,020	0,035	0,25	0,25	0,05	0,05	0,20	0,030	0,020	0,030				
Gyártási útvonal:			UHP - ASEA -						Ti(ppm)		B(ppm)	H(ppm)	N(ppm)	O(ppm)		
												0	0	0		
Folyékony acéltermelés:			79,000				t/adag				3	120	35			
BETÉTALKOTÓK		Anyagkód		Mennyiség					Fajlagos							
Összes hulladékbetét:				87,000			t/adag		1101,27 kg/t							
FeMn (75%)				0,600			"-		7,59 "-							
FeMn.aff. (Mn 90%)				0,760			"-		9,62 "-							
FeMnSi (70/18 %)				0,500			"-		6,33 "-							
FeSi (75%)				0,300			"-		3,80 "-							
FeCrI HC (Cr 70%, C 8%)				0,250			"-		3,16 "-							
Al-tömb				0,120			"-		1,52 "-							
Al-huzal				0,060			"-		0,76 "-							
S -huzal				0,040			"-		0,51 "-							
Stoll C				0,020			"-		0,25 "-							
C -huzal				0,020			"-		0,25 "-							
CaSi-huzal (Ca 30%, Si 60%)				0,020			"-		0,25 "-							
FeTi-huzal (70%)				0,030			"-		0,38 "-							
Összes ötvöző				2,720			"-		34,43 "-							
ÖSSZES FÉMES BETÉT				89,720			"-		1135,70 "-							

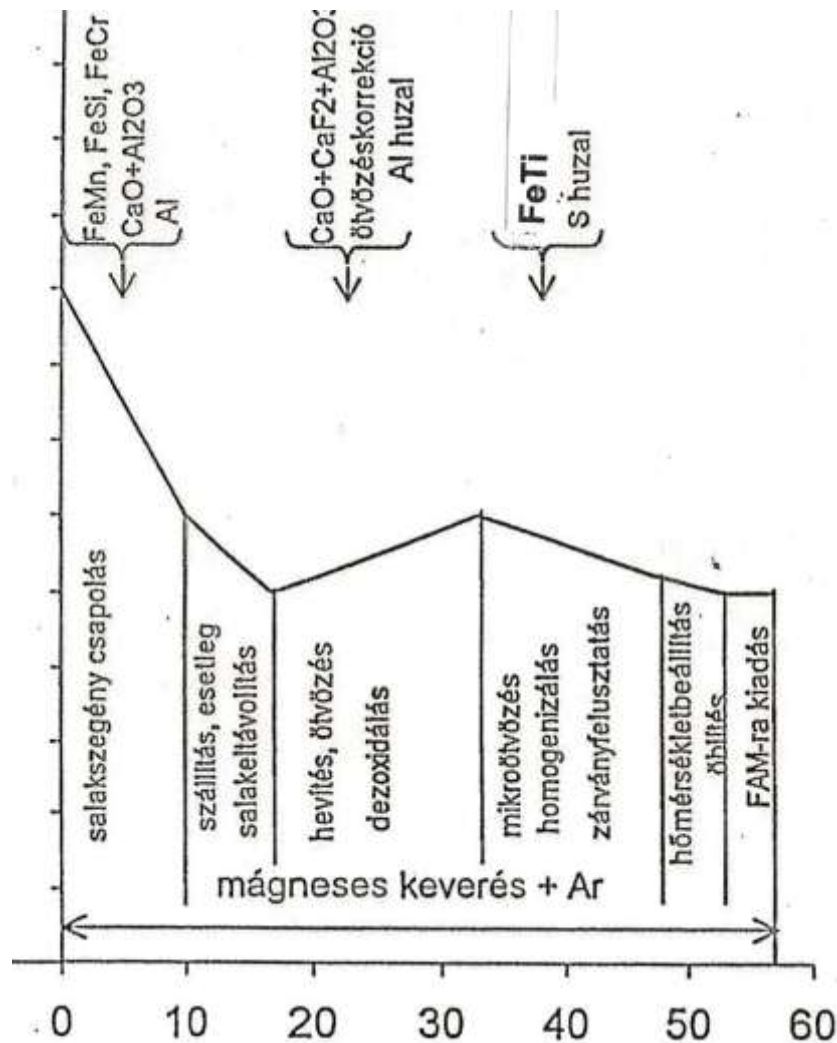
Az UHP kemencében történő gyártás, az alapacéloknál bemutatott habos salakos technológia szerint történhet.

A hőmérséklet és a kémiai összetétel beállítása és a fenéken keresztüli 5-8 perces argonozás után az adag csapolható. Csapolásnál törekedni kell a salak visszatartására. Csapolás közben a dezoxidálási és ötvöztetési sorrend a következő: karbonizáló-anyag, FeMnSi, FeSi, FeMn, Al_{tömb},

Csapolás után, az acélfelületet „cseresznye-szem nagyságú” CaO + Al₂O₃ salakképző anyaggal kell betéríteni és az acél Ar-gázzal történő kezelését (ahol erre lehetőség van) azonnal meg kell kezdeni. Ezt követően az adag üstmetallurgia kezelésre átadható.

Üstmetallurgiai kezelés

Az UHP ívkemencétől beérkező adag üstmetallurgiai kezelésének folyamatát a 24. ábra szemlélteti.



24. ábra Finomszemcsés, nagy folyáshatárú, jól hegeszthető, nagy tisztaságú, és nagy folyáshatárú acél üstmetallurgiai kezelés elve [22]

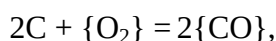
A 24. ábrából az is látható, hogy a FeTi porbeles huzallal történő mikroötvözést csak az ötvöztési, dezoxidálási és kéntelenítési folyamatok befejezése után szabad elvégezni!

Ezt követő homogenizáló és „zárványtisztító” Ar-öblítés és/vagy indukciós kezelés valamint hőmérséklet ellenőrzés után, a készre gyártott adag folyamatos öntésre adható.

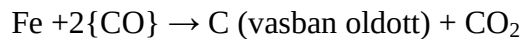
3.2.3.2. Betétben edzhető acélok

A betétben edzhető acél kis karbontartalmú ötvöztelen vagy ötvözött acél, amelynek felületén a karbon tartalmat termokémiai kezeléssel (cementálással) növelik, és ezt követően edzik. A betétedzett acél felületi rétege kemény, magja pedig szívós.

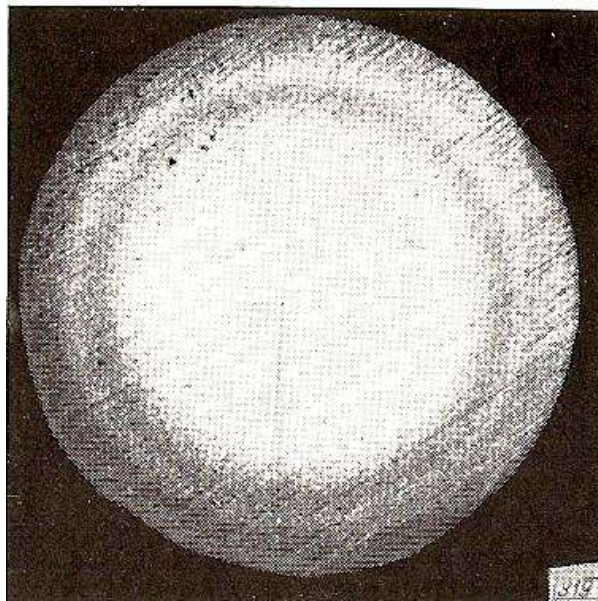
Az acélok betétedzésénél a munkadarabot, egy tartályban előkészített izzó faszénporba ágyazzák, majd a tartályt légmentesen lezárják. A levegőben lévő oxigén az izzó faszénnel érintkezve szénmonoxidot fejleszt:



A szénmonoxid a vas felületébe diffundálva növeli annak karbontartalmát:



A felszabaduló CO_2 -ot az izzó faszén CO -dá redukálja, és biztosítja a további – vas és a faszén karbonja közötti – diffúziós folyamatot, egészen addig, amíg a munkadarab kérge karbonban telítődik (25. ábra).

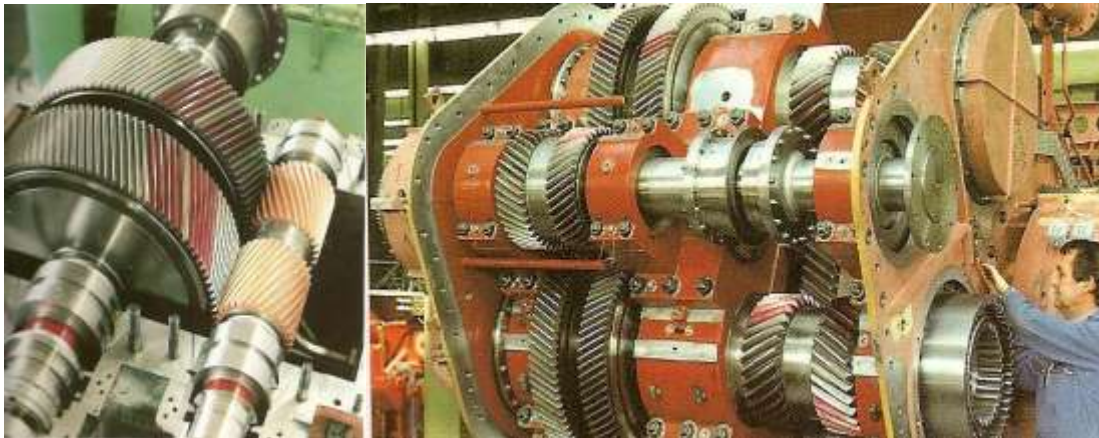


25. ábra Cementált kéreg csiszolt és maratott keresztmetszete [6]
(M:10 x)

A korszerű betétben edzhető acélok nagy felületi szilárdságúak, kiválóan edzhetők, finomszemcsés szövetszerkezetűek, magjukban pedig igen szívósak. Ezek a tulajdonságok alkalmassá teszik olyan járműalkatrészek előállítására, melyek üzemi igénybevétele nagy felületű kopásállóságot, magjukban pedig a kifáradással szemben megfelelő ellenállást biztosítanak. Ilyenek: különböző igénybevételű járműalkatrészek: kormányserkezetek, futóművek, fogaskerék rendszerek. Ezekre mutatnak be példákat a 26-27. ábrák.



26. ábra Süllyesztékes kovácsolással készült kapcsolóvilla [23]



27. ábra Fogaskerék hajtás [24]

Gyártástechnológia

A korszerű betétedzésű acélok összetételüket tekintve a DIN 17200; GOSZT 4543 szabvány csoportba tartoznak.

A betétben edzhető acélminőségek közül nagy jelentősége van az acélgyártás szempontjából egyik legnehezebben gyártható acéloknál a bórral mikroötvözött járműipari minőségeknek [25].

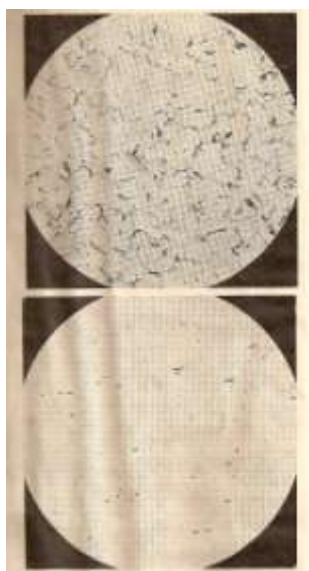
A bór jellemző tulajdonsága, hogy csökkenti a cementált kéreg bemetszésekkel szembeni érzékenységét, javítja az ütőszilárdságot, fokozza a fárasztó igénybevétellel szembeni ellenállóképességet. A 28. ábra szemlélteti a bórtartalom kedvező hatását a dinamikus törőerő javulására.

A bór mikroötvözésű betétedzésű acélok a cementálás hőmérsékletén ausztenites szövetűek, így a munkadarabok edzése közvetlenül elvégezhető, elkerülve ezzel a munkadarabok méret és alakváltozásának veszélyét.

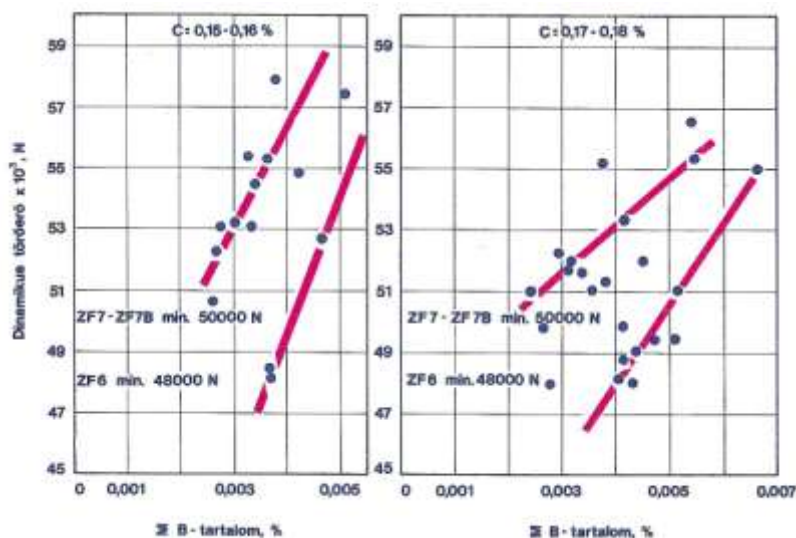
Bór mikroötvöztetésű, betétben edzhető acélminőségeket alkalmaznak a légi-, földi- és földalatti járművek sebességváltó rendszerében. Az erre szakosodott ZAHNRADFABRIK (ZF) által előírt kémiai összetételt a 13. táblázat tartalmazza.

13. táblázat ZF acélminőségek kémiai összetételi előírása [25]

Kémiai összetétel, %	ZF6 (16MnCr5)	ZF7 (20MnCr5)	ZF7B (20MnCr5)
C	0,13-0,18	0,15-0,2	0,15-0,2
Si	< 0,4	< 0,4	< 0,4
Mn	1,0-1,3	1,0-1,3	1,0-1,3
P	<0,025	<0,025	<0,025
S	0,02-0,035	0,02-0,035	0,02-0,035
Cr	0,8-1,1	1,0-1,3	1,0-1,3
Mo	<0,08	<1,2	<1,2
Ni	<0,3	<0,3	<0,3
B	0,001-0,003	0,001-0,003	0,001-0,003
Cu	<0,3	<0,3	<0,3
Al	0,02-0,05	0,02-0,05	0,02-0,05
Sn	<0,03	<0,02-0,05	<0,02-0,05
Ti	<0,005	<0,005	<0,005
Ca	<0,003	<0,003	<0,003
Sb	<0,005	<0,005	<0,005
O	<0,0025	<0,0025	<0,0025



Bór nélküli (fent) és
bórral mikroötvözött acél (lent)
szemcsenagysága (100 X)



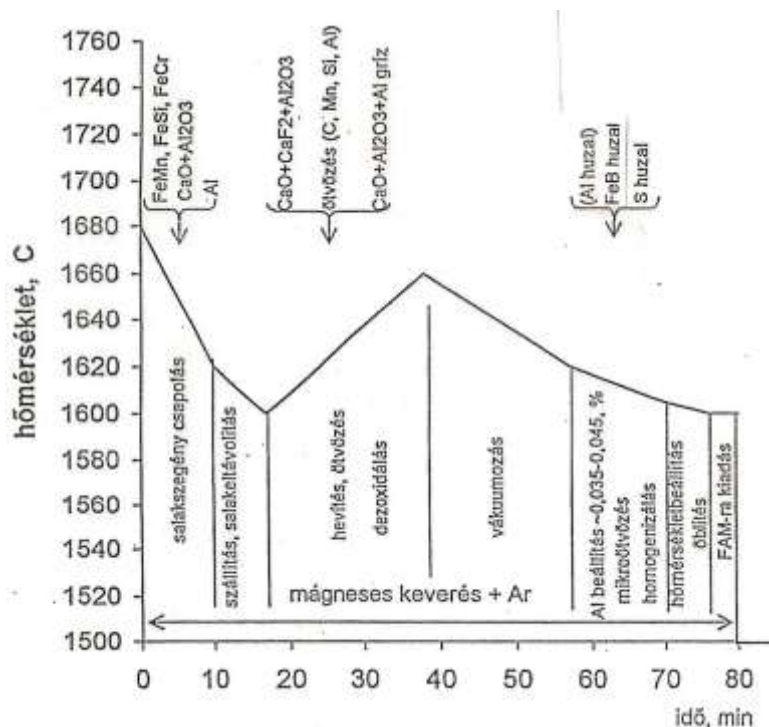
A dinamikus törőerő változása a
Σ B tartalom függvényében

28. ábra Betétben edzhető acélok minőség javítása bór mikroötvözéssel [25]

A betétben edzhető ZF7 B minőségű acél gyártása a következő technológiai útvonalon történhet:

EAF/LD → komplex szekunder kezelés ($Ar_{injektálás}$ + hevítés + vákuumozás + porbeles mikroötvözés) → $FAM_{zárt}$ öntés

A primer acélgártás az alapacéloknál ismertetett módon történhet, az üstmetallurgiai kezelés lefolyásának elvét a 29. ábra szemlélteti.

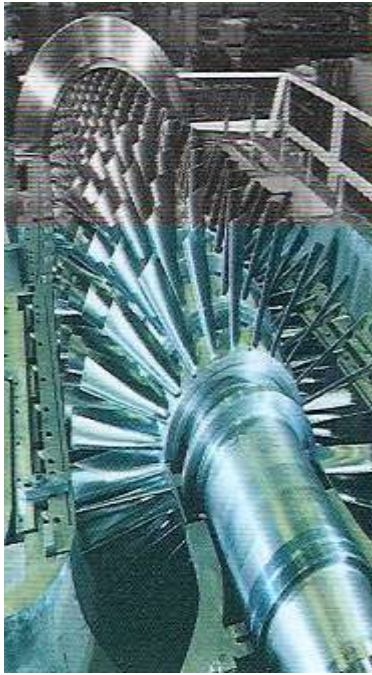


29. ábra Bór mikroötvözésű, betétben edzhető acél komplex üstmetallurgiai kezelés elve [25]

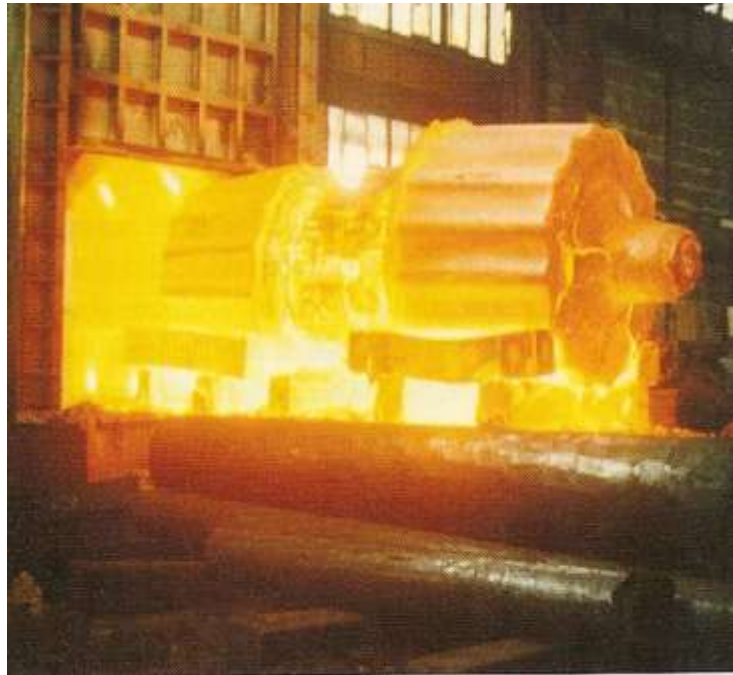
Vákumozásnál fontos hogy igen kis nyomás értéket (max. 1 Hgmm) érjenek el, a vákuum-karbonos-dezoxidáció megvalósítására az igen kis méretű (< 5 μm) zárványok salakba vitelére.

3.2.3.3. Nemesíthető acélok

Nemesíthető acélok közé soroljuk azokat az acélokat, amelyek kémiai összetételük következtében edzhetők és nemesítés (edzés + megeresztés) után, meghatározott szilárdság elérése mellett szívósak. Legszélesebb felhasználási területük a gépipar és a járműipar. Erre mutat be példákat a 30-31. ábra. Az ott látható 230 tonnás öntött tuskótól nagyobb méretű tuskót kovácsolt a német Buderus Edeltahl cég 1986-ban, amikor japán megrendelésre 600 tonnás tuskóból kovácsolt vízi-erőműi tengelyt [26]. A Csepeli Acélműben kiváló eredménnyel alkalmazták az acél alakítási melegből való hőkezelését -termomechanikus kezelését- VW-forgattyús tengelyekre.



30. ábra Légturbina tengely [26]



31. ábra Turbina tengely céljára gyártott 230 tonnás öntött tuskó előhevítése kovácsoláshoz [27]

Egy Diesel-mozdony forgattyús tengelye (32. ábra) éppen úgy nemesíthető acélból készül, mint



32. ábra Diesel mozdony forgattyús tengely [26]

a gépkocsik mellső tengelye (33. ábra).



33. ábra Gépkocsi mellső tengely [26-27]

A járműiparban felhasznált acéloktól az előírt szigorított kémiai összetételen és növelt mechanikai értékeken kívül megkívánják még:

- a jó (szűkített Jominy-sávú) edzhetőséget,
- kifáradással és dinamikus hatásokkal szembeni ellenállást,
- dúsulás-mentes, homogén anyagszerkezetet,
- finomszemcsés szövetszerkezetet,
- nagyfokú makro-mikro zárványtisztságot és
- a jó megmunkálhatóság érdekében kén mikroötvözést.

A nemesíthető acélok normalizált állapotban ferrit-perlites szövetűek, szakítószilárdságuk elérheti a 1500 N/mm^2 , folyáshatáruk az 1000 N/mm^2 értéket.

Az igen nagy igénybevételű és nagy keresztmetszetű, atomiparban használt turbina és generátor szerkezeti elemek megfelelő szívóssággal párosuló nagy folyáshatárát Ni-Cr-Mo ötvöztetésű acélokkal lehet elérni.

A földalatti-, közúti- és légtechnikai járműalkatrészek gyártásához a nemzetközi szabványok több száz nemesíthető acélminőséget tartalmaznak, melyek közül a gyakorlatban legtöbbször használatos minőségek a CrNi, CrMo acélok.

Gyártástechnológia:

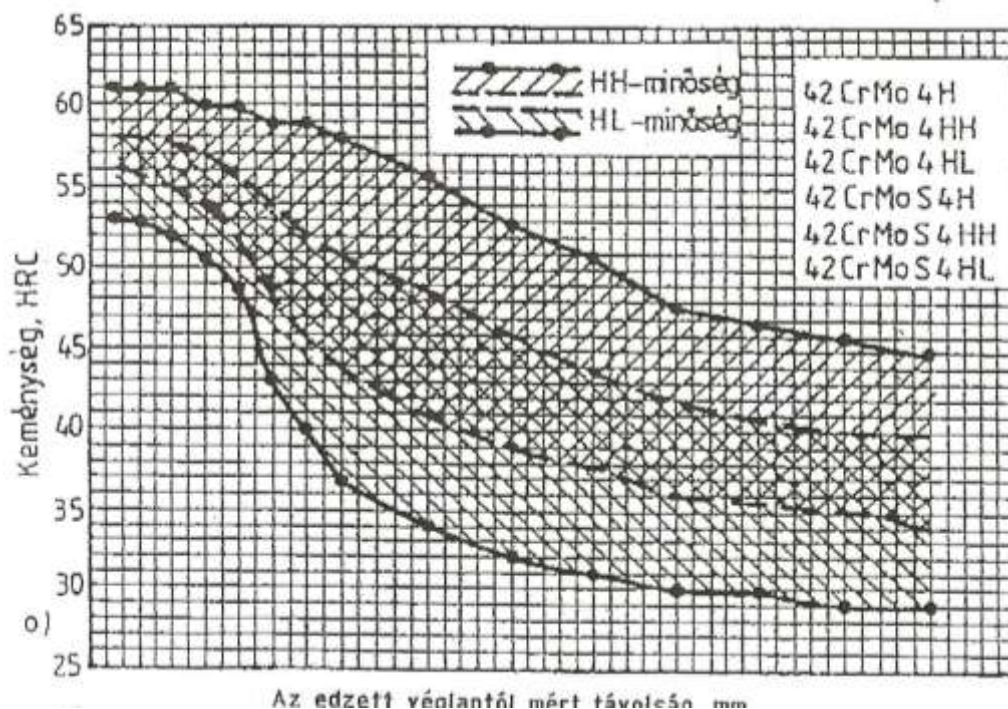
Nemesíthető acélminőségek egyik legtöbbször használatos minősége a 42CrMo4 jelű acél. Ezen acélminőség szigorított előírása a 14. táblázatban látható.

Az edzhetőségi előírást egyes esetekben alsó (HL) vagy felső sávra (HH) esetleg mind két sáv közé (H) szigorítják. Ilyen esetekben az edzést követő keménységi vizsgálatkor a 34. ábrán bejelölt területi tartományokat kell elérni.

14. táblázat A 42CrMoS4 H előírása a DIN 17200 szabvány és a Mercedes DBL 4028 szerint

Anyagminőség:		42CrMoS4 H
Szabványszám:	DBL 4028-84 (Mercedes)	
Alapanyaggyártás:	LD konverter, vagy elektroacélgyártás, vákuumos gáztalanítás	
Szállítási állapot:	folyamatosan öntött buga vagy hengerelt buga	
Felhasználási cél:	zömítés, indukív hevítésre előkészített állapot. Későbbi felhasználás légijárművek erőátviteli eszközei (pl. hajtóműtengely)	
Vegyí összetétel:	Összetételi előírás [%]:	Edzhetőségi (számított) célösszetétel [%]:

	C : 0,42-0,45	C : 0,43
	Si : 0,15-0,35	Si : 0,27
	Mn : 0,50-0,80	Mn : 0,75
	P : max. 0,025	P : 0,015
	S : 0,030-0,045	S : 0,025
	Cr : 0,90-1,20	Cr : 1,12
	Ni : max. 0,25	Ni : 0,20
	Mo : 0,15-0,25	Mo : 0,22
	V : max. 0,06	V : max. 0,02
	Sn : max. 0,03	Sn : max. 0,03
	Cu : max. 0,25	Cu : max. 0,25
	Al : 0,020-0,050	Al : 0,030
	Ti : max. 0,02	Ti : max. 0,02
	Cu + 10 x Sn: max. 0,50	Cu + 10 x Sn: max. 0,04
	H ₂ : max. 2 ppm	H ₂ : 2 ppm
Átmunkálási szám:	min.10; életvédelmi esetekben: min. 15	
Szemcsenagyság:	ASTM E 112 szerint: 5-8	
Zárványosság:	ASTM E45 szerint vizsgálva:	
	„A” típus	„B” típus
Vékony	3,0	3,0
Vastag	2,0	2,0
	„C” típus	„D” típus
	3,0	2,0
	2,0	1,0
Edzhetőség [mm][HRC] :	DIN 50191 szerint vizsgálva	
	J 1,5 56 – 61	J 11 48 – 59
	J 3 56 – 61	J 13 46 – 59
	J 5 55 – 61	J 15 44 – 58
	J 7 54 – 60	J 20 41 – 56
	J 9 52 – 60	J 25 39 – 53
	J 30 38 – 51	J 35 36 – 48
	J 40 36 – 47	J 45 35 – 46
	J 50 34 – 45	
Egyéb előírások:	Ólom, kadmium, króm VI. és higany felhasználása kifejezetten tilos!	
Hengerlés, végátvétel:	Átmunkálási szám: min. 9,5	
	UH vizsgálat:SEP 1920:1984 3/C	
	Egyenesség: max. 5 mm/m	
	Felületi hibamélység: max. 2 mm	
	Végvágás: fűrészelés, végsorjázással	
	Jelölés darabonként (adagszám, minőség)	
	Összetétel ellenőrzés: darabonkénti színeképelemzés	
Minőségtanúsítás:	DIN EN 10204: 1995. 3. 1. B. és SEP 1920:1984 3/C szerint, Kunden-Ref 193520 Material-Nr.: 912174 igazolással	



34. ábra 42CrMoS4 minőség Jominy sávja

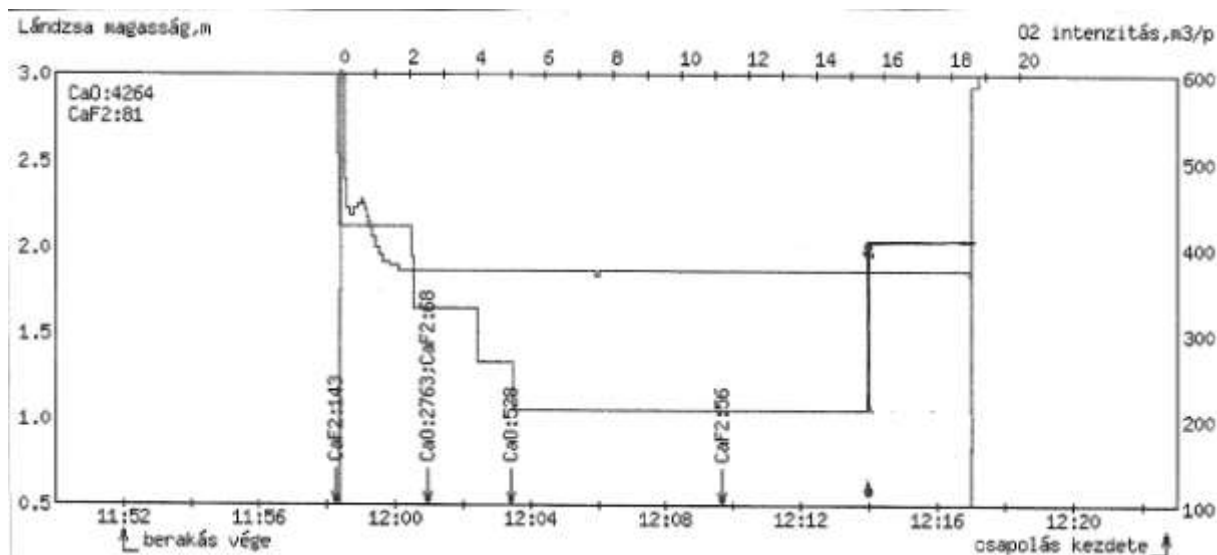
A 42CrMoS4 H jelű, kénnel mikroötvözött acélminőség gyártása a következő technológiai útvonalon történhet [22]:

Technológiai útvonal: LD – ASEA-SKF (hevítés + vákuum) – FAM_{zárt}

vagy: UHP – ASEA-SKF (hevítés + vákuum) – FAM_{zárt}

A primer acélgyártási technológia megegyezik az „alapacélok” gyártásánál bemutatott technológiával, de az LD-konverter esetében, nem a kis karbon tartalmú acéloknál használatos „lágypára fűtatásos” technológiát, hanem az előírt karbon tartalomhoz igazodó „karbon elkapásos” technológiai módszert kell alkalmazni.

Karbon elkapásos módszer esetében a lándzsán keresztül befűtatandó oxigén mennyiség számításánál az előírt karbon tartalom alsó határértékét veszik alapul. A számított oxigén mennyiség elérése után megszakítják a fűtatást, mintát vesznek és a kapott karbon értékétől függően befejezik, vagy tovább folytatják a fűtatást. (Korszerű LD-konvertereknél ezt a műveletet automatikusan szubláncsákkal végzik). Fontos előírás, hogy az oxigén fűtatás megszakítása előtt 2-3 perccel, keményfűtatásról – salak kivetés megakadályozása érdekében – lágypára fűtatásra áttérve kell a számított oxigén mennyiséget befűtatni (35. ábra).



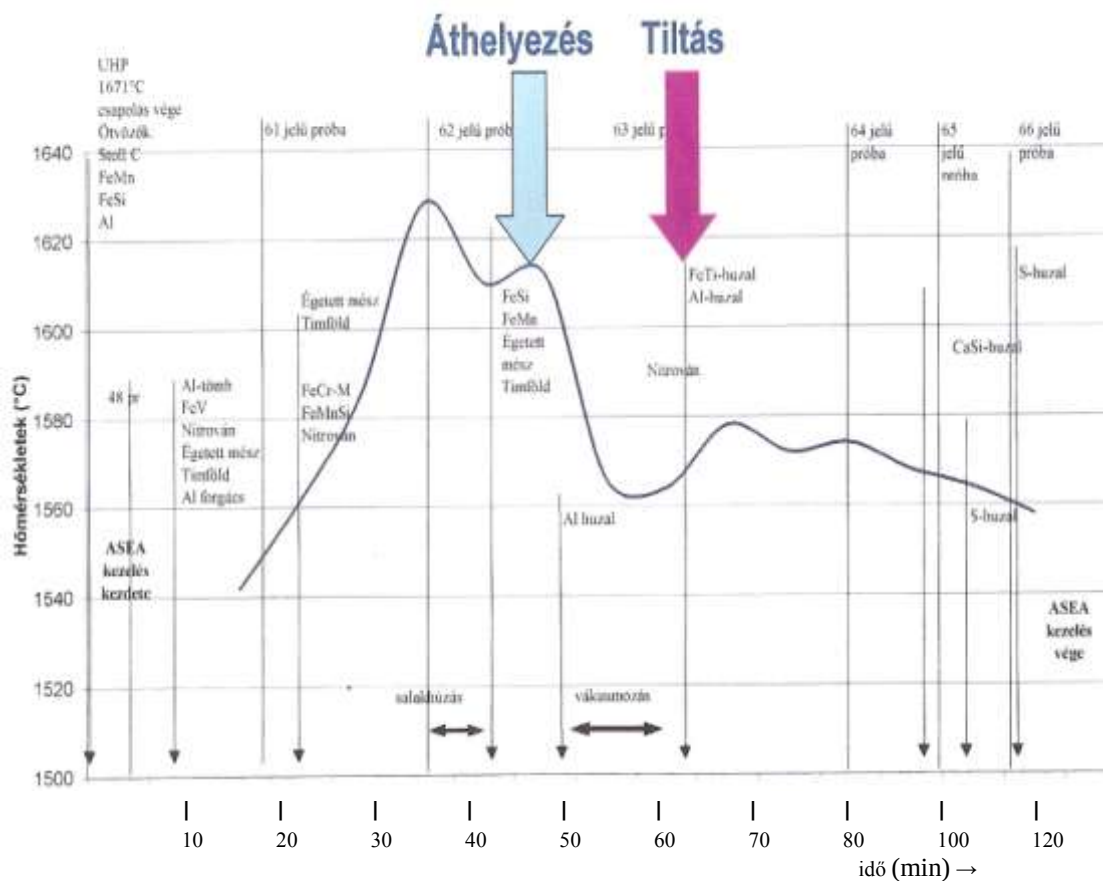
35. ábra Közepes karbon tartalmú acélok oxigén fűvátsási diagramja [22]

Az újrakénezt acélok üstmetallurgiai kezelésének elve a 35. ábrából követhető.

Az acél üstmetallurgiai kezelésénél a dezoxidálási és kéntelenítési technológia megegyezik az igen kis kéntartalmú ($S = \max. 0,005 \%$) acélminőségek gyártásával. Ennek eredményeként jól dezoxidált, igen kis zárványtartalmú, kiváló minőségű acélt nyernek.

Titán vagy más mikroötvözőkkel gyártott minőségeknél a 36. ábrán látható „Tiltás” azt jelenti, hogy az ötvöztést nem vákuumozás után, hanem előtte kell lefolytatni. A kén mikroötvöztését viszont csak a vákuumozás és a tisztító Ar-öblítés befejezése után nyert nagy tisztaságú acélba szabad, porbeles huzallal végezni! (Ellenkező esetben a folyamatos öntésnél számolni kell a kagylószűkülést okozó alumíniumoxid zárványok kedvezőtlen hatásával).

Az üstmetallurgiai kezelés teljes ideje alatt, az acélban keletkező zárványok salakba való feljutását, indukciós és/vagy argonos keveréssel segítik.



36. ábra Újrakénezési technológiai folyamat vázlatos bemutatása [2]

3.2.3.4. Automata és jól forgácsolható acélok

Automata, jól forgácsolható acéloknak nevezzük a szokásosnál nagyobb kén tartalmú, vagy kén mellett más (Se, Te, P, újabban Bi) forgácsolhatóságot növelő elem által nyert, rövid forgácsot adó acélokat. Rendeltetésük szerint lehetnek:

- általános, hőkezelés nélküli
- betétben edzhető és
- nemesíthető acélminőségek

Felhasználásukra mutat be példát a 37. ábra, a 15. táblázat egy bizmuttal mikroötvözött, és egy erősen ötvözött automata acélminőség kémiai összetételét szemlélteti.



37. ábra Gépkocsi gyújtógyertya alapanyaga és a késztermék. [2]

15. táblázat Bi-os automata acélok kémiai összetétele (%)

Acélminőség	C	Si	Mn	P	S	Bi	Cu	Al
9sMn36Bi	<0,14	<0,05	1,0-1,4	0,05-0,09	0,32-0,38	0,06-0,15	<0,30	0,01-0,03
X12CrMoS17	0,10-0,14	<1,0	<1,5	0,155-0,175	0,15-0,35		<0,30	0,01-0,03

A forgácsoló eljárásoknál keletkező nagy nyomás, hő és koptató hatást, sok esetben sem a szerszám, sem a megmunkált anyag nem képes elviselni. A felmerülő nehézségeket a gyártási technológiák fejlesztésével és új összetételű acélok bevezetésével oldják meg.

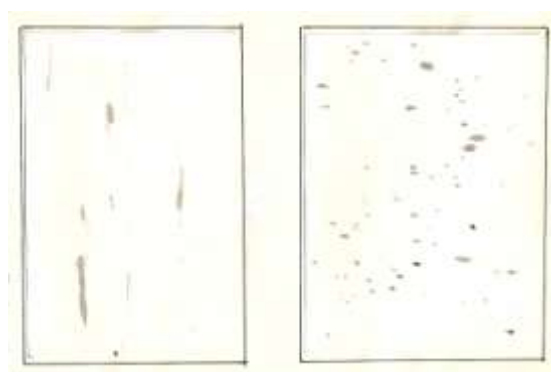
A kén a legfontosabb és legolcsóbb ötvözőeleme az automata acéloknak. Kis karbontartalom mellett a kéntartalom 0,10 %-os növelése kb. 35 %-al javítja a forgácsolhatóságot, ugyanakkor rontja az acél szilárdsági tulajdonságait.

A mangánnak fontos szerepe van az automata acéloknál. Mivel a vasnál nagyobb az affinitása kénhez, a forgácsolást nagymértékben elősegítő (I. típusú) mangán-szulfidot képez. A mangán-szulfid további előnyös tulajdonsága, hogy 1610 °C-ig szilárd halmazállapotú, ellentétben a vas-szulfiddal, amelynek olvadáspontja 1170 °C. Mivel ez a hőmérséklet közel azonos a hengerlési hőmérséklettel, ezért lehetőség van az ausztenit szemcsehatárákon, a vas-szulfid kiválására. Ez pedig hengerléskor vörös-törékenységet okozhat.

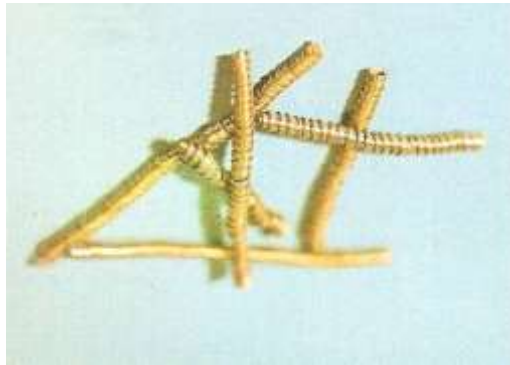
Mindezek alapján az automata acélok kéntartalmát kompromisszumként 0,40 %-ban szokták maximálni, a Mn-tartalmat pedig 1,00 % fölé növelni, amely elegendő ahhoz, hogy a kén mangán-szulfid alakjában lekösse.

Környezet- és egészségvédelmi okokból a forgácsolhatóságot nagymértékben javító ólom használata tiltott, kiváltására sokféle próbálkozás történt, melyek közül igen jó eredménnyel járt a bizmuttal történő mikroötvözés. Ennek tudható be, hogy ma már ez az egyik legelterjedtebb automata acélminőség.

A Bi-al mikroötvözött acélok jó forgácsolhatóságát okozó szövetszerkezetet a 38. ábra szemlélteti, ahol a hagyományos automata acéloknak lévő elnyújtott mangán-szulfidok helyett, kis alak tényezőjű gömbölyded-alakú szulfidok láthatók. Ezt erősíti meg az esztergályozáskor keletkezett, a 39. ábrán látható rövid hosszban leváló forgács-forma.



38. ábra Hagományos (baloldal) és Bi ötvözésű (jobboldal) automata acél mangán-szulfid eloszlása [2]



39. ábra Bi ötvözesű automataacél forgácsalak [2]

Az automata acélminőségek gyártása, a kénnel mikroötvözött nemesíthető acéloknál ismertett technológiához hasonlóan történik.

3.2.3.5. Sínacélok

Az első öntött kivitelű vályús síneket 1767-ben, kovácsolással készült síneket 1805-ben, a hengerelt kivitelű síneket 1825-ben kezdték alkalmazni Európában [28].

A hazai vasútépítés 1846-ban a majd Budapest-Vác közötti gőzvontatású vasútvonal építésével kezdődött.

Magyarországon először 1862-ben, Ózdon gyártottak vasúti sint, majd 1870-től Diósgyőrött.

A síngyártást kavartvasból nyújtott nyerssínekből és ócskasínekből összeállított kévék (csoomagok) forrasztó-alakító hengerlésére alapozták, melynek kivitelezése több lépcsőben történt.

Az első gyártási fázisban a kavarókemencében előállított acélgomolyákat lapos szelvényű „lupá”-vá hengerelték, lehűtötték, majd töret szerint osztályozták. A gyártás második fázisában az azonos töretű nyerssínekből, elkopott ócska-sínekből és hulladék-vasakból kötegeket készítettek, melyek felületét, az oxidációvédelem érdekében agyagos réteggel kentek be. A kötegeket forrasztókemencében hevítették, kovácsolással egyesítették, azaz a csomag egyes darabjait egymással összeforrasztották. Utolsó technológiai fázisban az előhengerelt darabokat újból felizzították, majd 11-13 szúrással készre-hengerelték, azaz másodszor forrasztották.

Az előállított sínek 4,57 m hosszúak voltak, – tájékoztató jellegű – százalékos összetételük a következő volt: C: 0,06; Mn: 0,55; Si: 0,12; P; 0,24; S: 0,09.

A kétszer forrasztott acélgyártási technológiával előállított sínek minősége nem volt kifogástalan. A sínfej szövetszerkezetében egyenetlen alakítási szálirányok, a talpakon repedések, a fejeken forrasztási hibák mutatkoztak (40. ábra).



40. ábra Diósgyőrben 1875-ben kétszer forrasztott technológiával gyártott sín makro-csiszolata [28]

A síngyártás minőségjavulása az 1855-ben bevezetett Bessemer konverteres, majd az 1864-ben bevezetett Martin-acélgyártási technológia alkalmazásával következett be, amikor a kétszer forrasztott technológiát a „folytácélgyártás”-i technológia váltotta fel, a meleg-hengerlés technológia bevezetése mellett.

A korszerűsített síngyártási technológiával a Bessemer konverterben vagy Martin-kemencében folyékony állapotú acélt állítottak elő, öntőüstbe csapolták, majd kokillába öntötték. Az öntött tuskót dermedés után a kokillából eltávolították, megfelelő hőmérsékletre hevítették, majd az akkor már üzemelő hengerműben kihengerelték.

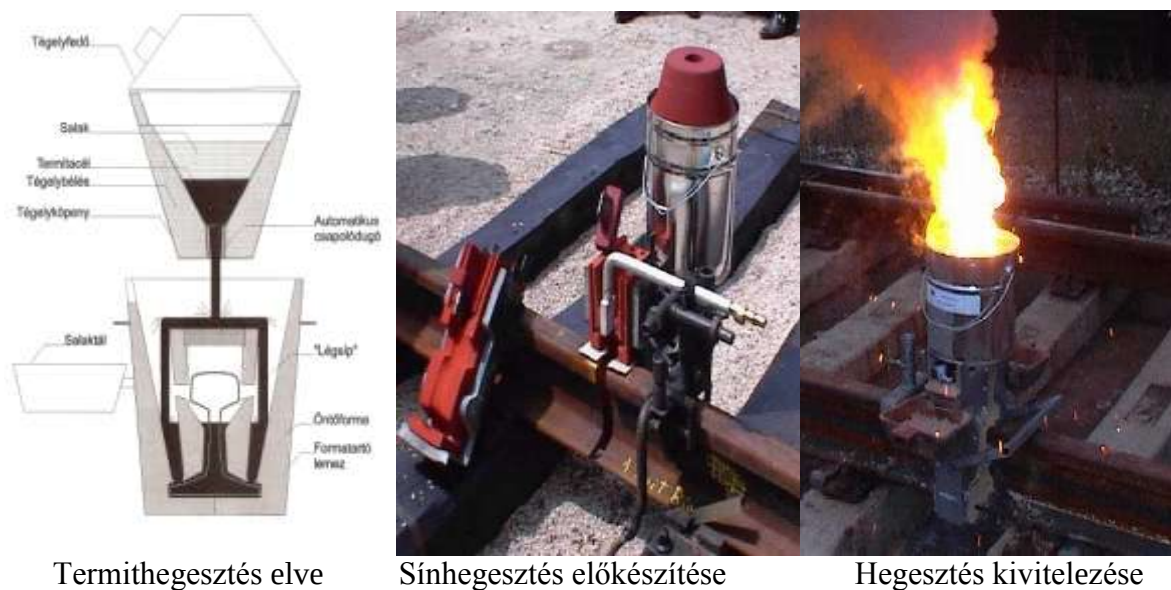
A II. világháború után, a síngyártási technológiában jelentősebb fejlődés 1965-ben következett be, amikor Diósgyőrött a „rég” Elektroacélműben bevezették a vákuumozási technológia alkalmazását, 1969. évben pedig „új” Elektroacélművet építettek.

Ezt követően Diósgyőrött továbbra is fő gyártmányok maradtak a sínek és a többi vasúti termékek. Komoly eredmény 1973-ban következett be, amikor új termékként megvalósították az 54 rendszerű sínek gyártását és a sín gyártása elérte az évi 48 000 t mennyiséget.

A vasúti közlekedés nagy előnye, hogy nagy terheket kis gördülő ellenállással lehet továbbítani. A sín és a kerék közötti kapcsolatban a járművek mozgása nagyon kis menetellenállással jár (41. ábra), így elsősorban ez teszi alkalmassá a vasúti közlekedést nagy tömegek mozgására, nagy sebességgel és kis vontatási energiával. Ezt az előnyt kihasználva és az alkalmazott technológiai fejlesztéseket fokozatosan fejlesztve eljutottak a mai, hagyományosnak nem mondható zúzottkő ágyazatot, keresztaljat, széles talpú, UIC 60 rendszerű sint (42. ábra) használó kötöttpályás vasúti rendszerhez.

A nagy sebességű vasúti közlekedés, a sínek minőségfejlesztését igényelte, melynél legjobban beváltak a bainites szövetszerkezetű, igen nagy szilárdságú (R_m : min. 1100 N/mm^2) minőségek. A nagyvasúti sínek acélminőségére vonatkozó legújabb szabvány (MSZ EN 13674-1) már nagyszilárdságú (szakítószilárdság min. 1100 N/mm^2 ; keménység min. 320 HB) és hőkezelt (szakítószilárdság min. 1200 N/mm^2 ; keménység min. 350 HB) sínminőségeket is tartalmaz a megnövekedett üzemeltetői igényeknek megfelelően.

A vasúti szerelvények vontatásánál nem elhanyagolandó szempont, hogy a diesel- vagy villamos mozdonyok kerekeinek fokozott igénybevétele (pl. gyorsítás, fékezés) a sínpályák intenzív fárasztó igénybevételével is jár. A dinamikus hatások csökkentésére hézagnélküli pályák kialakítása szükséges, melyhez jól bevált hegesztési módszer – ld. 44. ábra – az acélgyártás és hegesztés kombinációjaként végrehajtott aluminotermikus sínhegesztési módszer [29].



44. ábra Aluminotermikus sínhegesztés kivitelezése [29]

A sínekkel szemben támasztott metallurgiai, technológiai és műszaki – köztük a geometriai – követelmények bármely más hengerelt termékhez viszonyítva a legnagyobbak!

A sín használat közben számos funkciót teljesít. Mint több támaszú határozatlan tartó, hordozza a terhelést, és a keletkezett térbeli feszültséget az aljakon és ágyazaton keresztül az alépítmény felé továbbítja. A sínkoronának vezetnie kell a vasúti járművek kerekeit, és olyan keménységgel kell rendelkeznie, hogy ellenálló legyen a keréknyomásokkal szemben. Ezekből adódóan a legmegfelelőbb minőségű sínnek növelt szilárdsággal, nagy kopásállósággal, és dinamikus hatásokat elviselő nagy szívóssággal kell rendelkeznie [30].

A síngyártás vertikális technológiája, a következő metallurgiai és technológiai folyamatokra épül:

Primer acélgyártás: LD- konverter vagy UHP ívkemence →
 Szekunder kezelés: $\text{üst}_{\text{argonozás}} \rightarrow \text{üst}_{\text{hevítés}} \rightarrow \text{üst}_{\text{vákuumozás}} \rightarrow$
 Folyamatos öntés_{zárt} → FAM buga visszahűtés_{keszon} →
 FAM buga felület előkészítés_{csiszolás} →

Hevítés_{dekarbon mentes} → Felhevített buga_{revetlenítés} →
Hengerlés_{új üregterv szerint} → Hengerelt sín_{lehűtés} → sín_{egyengetés} → sín_{UH vizsgálat} → Sín<sub>mi-
nősítés</sub> → MEO és MÁV minőségi átadás-átvétel →
Sín késztermék_{kiszállítás}

Megjegyzés: folyamatos öntés helyett tuskóöntés is alkalmazható

A vertikális gyártástechnológia elkészítésénél a következő metallurgiai, alakítástechnológiai és fémfizikai szempontokat kell figyelembe venni:

- A 60 rendszerű síneknél megnövekedő dinamikus igénybevétel a szövetszerkezet finomításával lehet ellensúlyozni. Erre a célra a vanádium mikroötvözése kívánatos.
- A sínacélok tartósságát rontó Al_2O_3 zárványok kiküszöbölése érdekében kicsapásos dezoxidálásnál tiltott az $Al_{fém}$ használata, ezért a C, FeSi, FeMn dezoxidáló anyagok használatán túlmenően, a vákuum-karbonos dezoxidálás alkalmazására is szükség van.
- A hidrogén és nitrogén gázok csökkentése érdekében 3 Hgmm-től kisebb nyomáson kell a vákuumozást elvégezni.
- Kokillába történő alsóöntés, vagy zárt rendszerű folyamatos öntés egyaránt alkalmazható. Utóbbinál biztosítani kell az UIC döntvény által előírt min. 8-as „átalakítási-szám” elérését.

A 16. táblázatban a mechanikai vizsgálat eredményei láthatók, ahol ki kell emelni az acél tisztasága és a V-mikroötvözés hatása által elért kedvező ütőmunka értékeket.

16. táblázat 900A minőségű sín mechanikai vizsgálatának eredményei [28]

Próbák sorszama	Szakító szilárdság R_m	Folyáshatár R_{eH}	Nyúlás A_5	Kontrakció Z	Keménység HB	Ütőmunka KCU, J/cm ²		
	N/mm ²	N/mm ²	%	%		-30 °C	+20 °C	+60 °C
UIC 860-V-91	880-1030	-	min.10	-	-	3*	4*	4*
1.	1032	713	11	10	292**	9	10	10
2.	961	675	11	12	287**	7	10	14
3.	992	681	11	10	284**	11	18	19
átlag	1002	690	11	11	288**	9	13	14

*szabvány által hasonló minőségekre előírt érték

** 12 mérési hely átlaga

3.2.3.6. Korrózió- és hőálló acélok

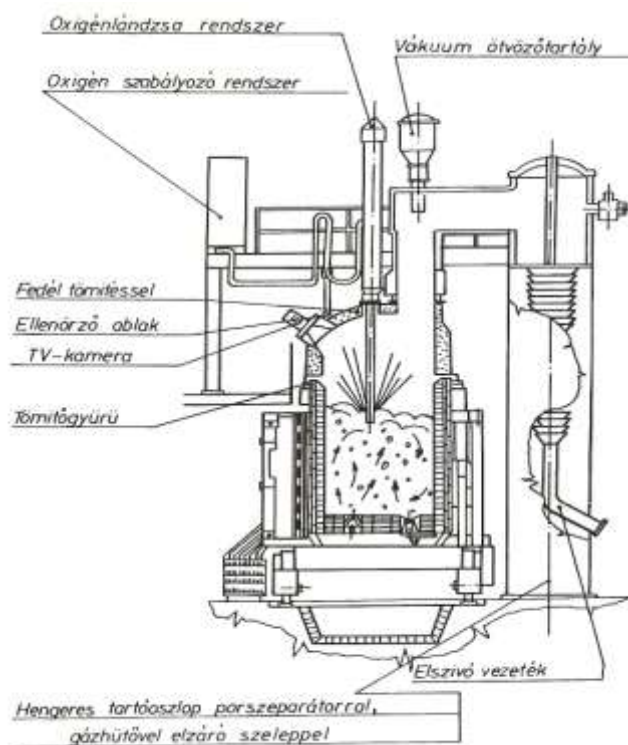
Korrózióálló acélok

A 18/8 típusú korrózióálló acélok gyártástechnológiája sokáig az átolvasztásos és a felépítéses technológiai módszerre épült. Az utóbbi módszert fejlesztették tovább az 1950-es években, amikor a Csepeli Acélműben az érces frissítés helyett áttértek az oxigénfúvatásos technológiára [67]. Az eljárással az acél karbon tartalmát a korábbi 0,1 %-ról 0,06 %-ra lehetett csökkenteni, de nem oldották meg a kristályközi korrózió veszélyének az elhárítását.

Az 1970-es években ugrásszerű fejlődés következett be a korrózióálló acélok gyártásban, amikor áttértek az AOD, CLU, VODK illetve a VOD eljárások bevezetésére. Diósgyőr az utóbbi technológiát valósította meg 1982. évben.

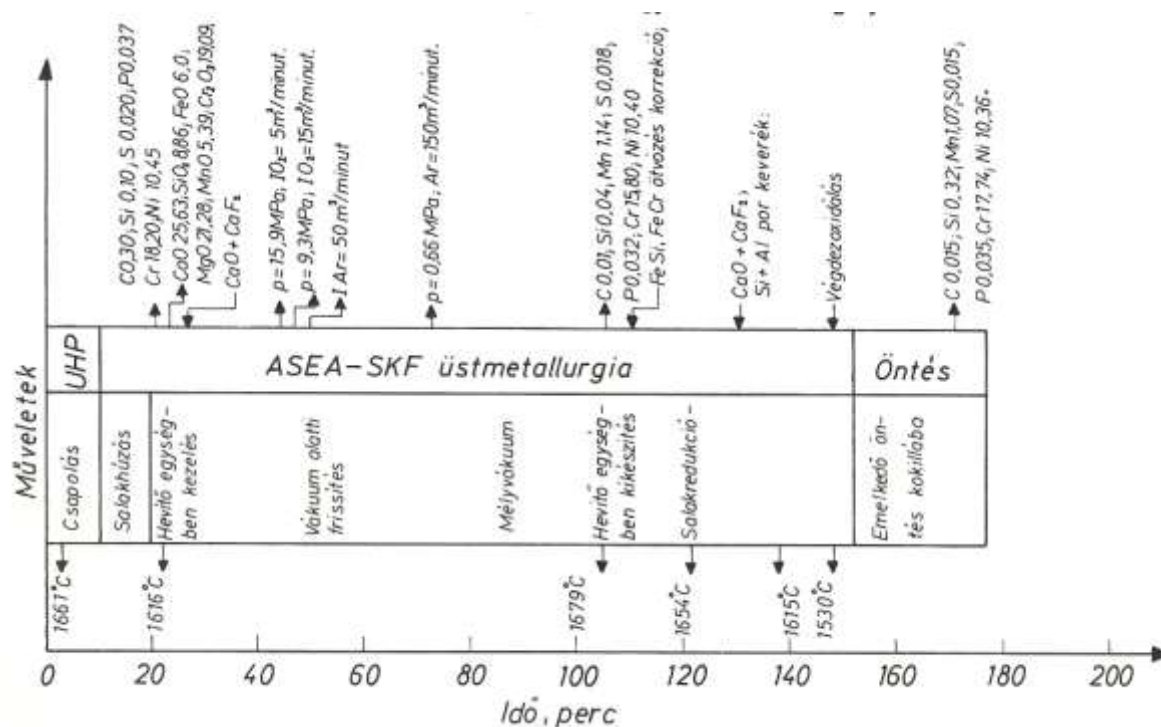
Az igen kis karbontartalmú ($C < 0,03\%$) 18/8 típusú stabilizálatlan (100 % ausztenit szövetszerkezetű) korrózióálló acélok korszerű és gazdaságos gyártástechnológiája a VOD eljárás (Vácuum Qxygen Decarburizing). Az így gyártott acéloknál nincs szükség titánnal vagy nióbiummal történő stabilizálásra. Élettartamuk az egy fázisú homogén szövetszerkezet folytán szinte korlátlan, és mivel nem tartalmaznak titán- vagy nióbium-karbidokat nincs szükség a karbidokat oldatba vivő hőkezelésre. Karbid mentességük eredményeként javul a forgácsolhatóságuk, hegeszthetőségük, negatív hőmérsékleten is szívósak maradnak, így kriogén hőmérsékleten is jól alkalmazhatók.

Az UHP $\rightarrow$ ASEA $\rightarrow$ VOD technológiai útvonalon történő eljárás lényege, hogy az UHP ívkemencében beolvasztott (szükség esetén előfrissített) folyékony félterméket, vákuum alatti frissítéssel tovább oxidálják (45. ábra), olyan fiziko-kémiai körülmények között, hogy a karbon szelektív csökkenése mellett a hasznos ötvözők (Pl. Cr, Mn) nem, vagy csak kismértékben oxidálódnak.



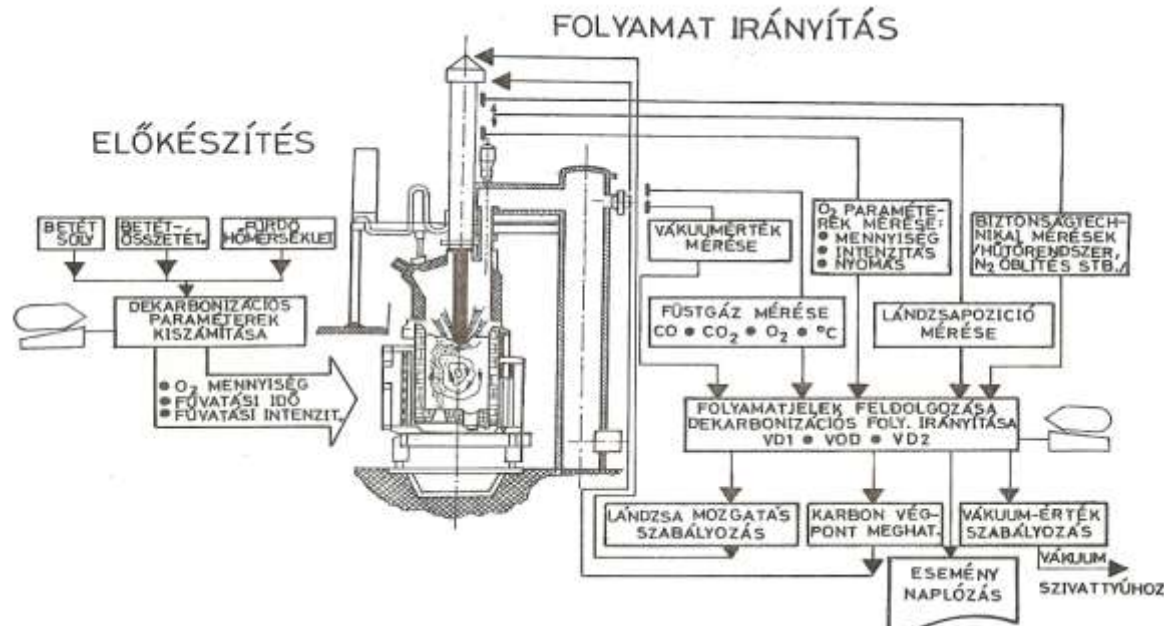
45. ábra Vákuumos frissítő egység metszete [31]

Az ívkemence betét összeállítása, a tervezett acél minőségével egyező korrózióálló acélhulladék részbeni visszahasznosításával is tervezhető. A Ni, (Mo) előötvöztetése az ívkemencében, a FeSi, FeMn és a FeCr előötvöztetése csapoláskor az üstbe, után-ötvöztetésük a vákuumfrissítő egységben történhet. A VOD üstkezelési folyamat végrehajtása – diósgyőri valós adatok alapján – a 46. ábrán látható.



46. ábra ELC kategóriájú korrózióálló acél gyártása VOD technológiával

A VOD eljárás pontos kivitelezésére „másodlagos információs rendszer”-t fejlesztettek ki [31], melynek elvi sémája a 47. ábrán látható.



47. ábra VOD eljárás számítógépes folyamatirányításának elvi vázlata [31]

A számítógépes rendszer segítségével, a fűtési végkarbonhoz szükséges oxigén mennyiség kiszámítható, az oxigénfűtési folyamat dinamikus programmal vezérelhető, melynek lefolyása műszeresen regisztrálható [31]. Egy korrózióálló acél összetételét mutatja a 17. táblázat

17. táblázat KO41 minőségű adag végösszetétele %-ban

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu
0,02	1,08	0,032	0,031	0,012	17,71	10,37	0,23

Hőállóacélok

A hőállóacélokat, mint a neve is mutatja hőhatásnak erősen kitett területeken (pl.: kazánok, szénhidrogénégők) használják. Összetételük a 18. táblázatban látható.

18. táblázat Hőállóacélok kémiai összetétele %-ban [32]

Acél minőség	Szövet szerkezet	C	Si	Mn	Cr	Ni	egyéb	S	P
H8	ausztenites	<0,2	0,8-2,0	<2	17-20	8-11	--	<0,03	<0,04
H9		<0,2	<2	<1,5	22-25	17-20	-	<0,03	<0,04
H10		<0,2	2-3	<1,5	24-27	18-21	-	<0,03	<0,04
H12	ferrites	<0,12	1-1,5	<1	12-14	-	Al:0,7-1,2	<0,03	<0,04
H13		<0,12	1,8-1,5	<1	17-20	-	Al:0,7-1,2	<0,03	<0,04
H14		<0,12	1,8-1,5	<1	23-26	-	Al:1,2-1,7	<0,03	<0,04
H15	Ferrit+ ausztenites	0,15-0,25	1,8-1,3	<2	24-27		-	<0,03	<0,04
H16	félferrites	<0,12	<2	<1	16-18	-	-	<0,03	<0,04
H17	ferrites	<0,2	<2	<1,5	23-27	-	N:<0,25	<0,03	<0,04

A hőállóacélok felhasználásának egyik fontos területét képezi a gázturbina forgórészek gyártása. Erre mutat be példát a 48. ábra, ahol a lamellák anyagát Alloy 617 (NiCr23Co12MO) jelű martenzites, 700 °C-ig hőálló acélból készítették.



48. ábra Hőálló acélból készült gázturbina forgórész [33]

3.2.3.7. Szerszám- és gyorsacélok

A szerszámacélok ötvözetlen, gyengén vagy erősen ötvözött összetételűek lehetnek.

Ötvözetlen szerszámacélok

Ebbe a csoportjába az alábbi összetételű szénacélokat sorolják:

C = 0,65 ... 1,40;
Si = 0,15 – 0,35;
Mn = 0,15 – 0,35;
P = max. 0,035;
S = max. 0,035;
Cu = max. 0,25;
V = max 0,09

Az ötvözetlen szerszámacélok jól kovácsolhatók, jól edzhetők, nemesíthetők.

Felhasználási területük: forgácsoló vágó, véső, fúró, maró, fűrészelő szerszámok, ekevas, őrlőgolyók stb.

Gyengén, közepesen és erősen ötvözött szerszámacélok

a.) Hidegen alakító szerszámok

Széles körben alkalmazzák hideg alakító szerszámokként a 12 % Cr-tartalmú és 1,00 ... 2,3 % C-tartalmú, ledeburitos acélokat (19. táblázat).

19. táblázat Erősen ötvözött hidegalakító szerszámacélok összetétele %-ban [34]

Sorszám	C	Cr	Mo	V	HRc
1	2,3	12			65
2	2,2	12	1,0		64
3	2,3	12	1,0	4	66
4	1,6	12	0,5	0,25	63
5	1,3	12		0,8	62
6	1,0	12			61

A 19. táblázat szerinti igen nagy C-tartalommal a karbidok mennyiségét, (ezzel az acél keménységét), a 12 % Cr tartalommal a kopásállóságot, Mo ötvözéssel a szilárdságot és átedzhetőséget, V ötvözéssel a finom szemcsézettséget tudták javítani.

A közepesen ötvözött hidegalakító szerszámacélok kémiai összetétele a 20. táblázatban látható, ahol a C-tartalom csökkentésével növelték az acél szívósságát, biztosítva ezzel a hidegfolyató- és vágószerszámok szívósságát.

20. táblázat Közepesen ötvözött hidegalakító szerszámacélok összetétele %-ban

Sorszám	C	Cr	Mo	W	V
1	0,9	5	1		0,25
2	1,25	5			1
3	1,1	6		1,3	0,5
4	0,9	5			0,2
5	0,9	5		1	0,2
6	0,8	4,5		4,5	0,25
7	0,9	4,5	1,2	2	1,1

A hidegalakító szerszámacélok gyártása felépítéses és átolvasztásos acélgéártási technológia alkalmazásával történhet

b.) Melegen alakító szerszámacélok

A melegen alakító szerszámok használatuk alatt, sokrétű igénybevételeknek vannak kitéve. Az igénybe vételek elviselése, nagy szilárdságot, folyáshatárt, szívósságot és a termikus kifáradásnak való ellenállást kíván a meleg alakító szerszámacéloktól. Ezeknek a tulajdonságoknak az eléréséhez W, Mo, Cr, V ötvöztetést alkalmaznak (21. táblázat).

21. táblázat Melegalakító szerszámacélok összetétele %-ban [35]

Acélminőség	C	Si	Cr	W	Mo	V	Ni
W acélok	0,3	0,2	2,5	8,5	-	0,3	-
	0,3	0,2	2,5	10	-	0,3	2
	0,3	0,2	2,5	4,5	-	0,6	-
Mo acélok	0,3	0,3	3,0	-	3	0,5	-
	0,4	0,5	3,5	2,2	2,2	1,5	-
Cr acélok	0,4	1,0	5	-	1,5	1,1	-
	0,35	1,0	5	1,5	1,5	0,4	-
	0,38	1,0	5	-	1,1	0,4	-
	0,4	0,8	4,5	4	0,5	0,5	-
	0,4	1,0	5	2	-	0,8	-
	0,35	0,4	5	-	3	0,5	-

A 21. táblázatban szereplő acélminőségek gyártása, felépítéses vagy –vákuumos kezelési lehetőség esetén- átolvasztásos acélgéártási technológia alkalmazásával történhet.

A melegalakító szerszámacélok egyik speciális csoportját képezik a martenzitesen öregedő, igen kis karbontartalmú *maraging acélok*.

A korrózióálló csoportba is sorolható acélminőségek közül, ki kell emelni a nikkelmartenzites X3NiCoMoTi acélminőséget, melynek %-os összetétele a következő:

C	=	< 0,03
Mn	=	< 0,15
Si	=	< 0,10
Co	~	9,00
Mo	~	5,00
Ni	~	18,00
Ti	~	1,00
Al	~	0,15

A martenzites maraging acélok jól alakíthatók, hegeszthetők, jó szívóssággal, ütésellenállással és hőkezeléssel elért nagy keménységgel rendelkeznek.

A martenzites maraging acélok géártástechnológiája a korrózióálló-acéloknál ismertetett technológiával egyezően történhet.

*

A szerszámacélok között is speciális típusú acél az ún. *gyorsacél*. A gyorsacélok, a gépiparban használt forgácsolási munkafolyamatok fontos szerszámjai. Hidegszerszámacélként kezdik a munkafolyamatot, de később a munkahőmérséklet többszáz °C-ra is megemelkedhet. Erre mutat be példákat a 49. ábra.



49. ábra Gyorsacél szerszámok

A nemzetközi gyakorlatban elterjedt gyorsacél minőségek kémiai összetételét a 22. táblázat tartalmazza.

22. táblázat Gyorsacél minőségfajták összetétele %-ban

Sorszám	C	Cr	V	W	Mo	Co
1	0,95-1,05	3,5-4,2	1,8-2,4	0,4	6-6,6	7,5-8,5
2	0,95-1,05	3,6-4,2	1,8-2,4	1-2	5,5-6,1	7,5-8,5
3	0,78-0,86	3,8-4,4	1,7-2,1	6-7	4,8-5,3	4,8-5,3
4	0,95-1,05	3,8-4,4	1,8-2,4	5,5-6	4,6-5,2	7,5-8,5
5	1,05-1,13	3,5-4,0	1,5-1,9	8-9,5	3,4-4,0	5,7-6,7
6	1,00-1,10	3,0-3,6	2,1-2,5	8,5-9,5	3,8-4,3	7,5-8,5
7	1,15-1,30	3,5-4,5	3,2-3,7	9,5-11	3,5-4,5	9,5-11
8	0,95-1,05	3,2-4,4	1,8-2,4	11-13	2,8-3,4	7,8-8,5
9	1,15-1,30	3,8-4,5	3,0-3,5	12-13,5	2,0-2,5	9,5-10,5
10	0,90-1,00	3,8-4,4	2,0-2,6	9-10,5	1,0	9,5-10,5

Hazai viszonylatban a 23. táblázat szerinti gyorsacél minőségek járatosak.

23. táblázat Hazánkban gyártott gyorsacél minőségek kémiai összetétele %-ban

Sorszám	C	Cr	W	Mo	V	Co	P _{max}	S _{max}
R1	0,74-0,84	3,8-4,6	17,5-19	0,7-1,0	1,2-1,5	9,0-10,0	0,030	0,030
R2	0,74-0,84	3,8-4,6	17,5-19	0,7-1,0	1,2-1,5	4,5-5,5	0,030	0,030
R3	0,72-0,82	3,8-4,6	17,5-19	<0,5	0,9-1,2	-	0,030	0,030
R6	0,80-0,90	3,8-4,6	6,0-7,0	4,8-5,3	1,7-2,1	-	0,030	0,030
R8	0,80-0,90	3,8-4,6	6,0-7,0	4,8-5,3	1,7-2,1	4,5-5,5	0,030	0,030
R9	1,05-1,15	3,8-4,6	6,5-7,5	3,8-4,3	2,7-3,3	4,5-5,5	0,030	0,030
R10	0,75-0,85	3,8-4,6	1,2-1,7	8,0-9,0	0,9-1,2	-	0,030	0,030
R11	1,05-1,15	3,8-4,6	1,2-1,7	9,0-10,0	1,0-1,5	7,5-8,5	0,030	0,030

Gyorsacélok jellemzése

A gyorsacélok olyan nagy teljesítményű szerszámacél fajták, amelyekből munkaigényes, nagy értékű forgácsoló szerszámok készülnek.

A gyorsacélok nagy előnye, hogy a belőlük készült, megfelelő módon hőkezelt szerszámmal fémeket, vagy egyéb anyagokat olyan nagy sebességgel forgácsolhatunk, hogy a vágóél akár sötétvörös izzásig (kb. 600°C) is felmelegedhet anélkül, hogy kilágyulna, és emiatt használhatatlanná válna.

A gyorsacélok legfontosabb tulajdonságai: nagy (meleg)keménység, szívósság, kopásállóság mellett megfelelő hőállóság.

A gyorsacélok nagy keménységét edzéssel érik el, amelyhez elegendő C, W, Mo, Co ötvöztetés is szükséges. A szívósságot V-al lehet javítani, de ehhez, az acélban nagy tisztasággal (igen kis gáz, zárvány, P, S tartalom) kell rendelkeznie.

A gyorsacélok hőállóságát az acélban oldott nagy olvadáspontú W, Mo, Co ötvözőelemek biztosítják.

A kopásállóságot főleg a keménység határozza meg, amit a martenzites szövetbe beágyazódott Cr-, Mo-, W-, Mo-, V- karbidok jelenléte biztosít. A karbidoknak finom eloszlásúaknak kell lenniük, melyet a likvidusz közeli öntési hőmérséklettel, kis átmérőjű kokillába öntéssel, diffúziós hőkezeléssel és sokszoros átkovácsolással lehet elősegíteni.

Figyelemre méltóak azok a tudományos kísérleti eredmények, melyeket a W-nak Mo-nel történő helyettesítésére, kiváltására végeztek. Tekintettel arra, hogy a Mo atomtömege kb. fele a W-nak, ugyanannyi ötvözőatom elérésére csak feleannyi ötvöző tömegre van szükség. Mivel a molibdénkarbidok hasonló felépítésűek a wolframkarbidokhoz, ugyanolyan tulajdonságok biztosítására 1,6 -2,0 % wolframötvöztést 1 % molibdén pótol [35-36].

A korszerű molibdén gyorsacélok fémfizikai laboratóriumokban végzett vizsgálati eredményei szerint éltartósság, kopásállóság esetében egyenértékűek, szívósság és melegszilárdság esetében pedig túlhaladják a wolfram ötvöztetésű gyorsacélok eredményeit [36].

Ki kell emelni, hogy a

- gyorsacélok igen nagy forgácsolóképességének eléréséhez a kristályosodás közbeni dendritárok csökkentése szükséges. Ennek érdekében *kis átmérőjű és tömegű (450-900 kg/db) tuskók öntésére van szükség,*
- a lehető legnagyobb, de legalább 9-szeres átkovácsolási számot kell biztosítani,
- a kedvező karbideloszlás kialakítása érdekében a képlékeny alakítás előtti diffúziós izotermikus hőkezeléstől sem lehet eltekinteni.

A kisméretű öntöttvas kokillába (esetleg homokformába) öntött gyorsacél tuskót – a külső felület lehántolása után – vagy közvetlen módon kovácsolással tovább alakítják, vagy a *tuskó minőségének javítása érdekében, elektrosalakos átolvasztást alkalmaznak,* és ezt követően végzik el a melegalakítást.

Gyorsacélok metallurgiája

A gyorsacélok gyártását az R2 minőségjelű acélok esetére mutatjuk be. Az acélgyártás több féle technológiai útvonalon történhet:

- a.) Elektromos ívkemence → tuskóöntés vagy vízszintes elrendezésű öntőgépen: folyamatos öntés
- b.) Elektromos ívkemence → üstmetallurgia (Ar + indukciós keverés) → tuskóöntés vagy vízszintes elrendezésű öntőgépen folyamatos öntés
- c.) Az a.) és/vagy b.) útvonal + elektrosalakos átolvasztás → tuskóöntés vagy vízszintes elrendezésű öntőgépen folyamatos öntés

Az alkalmazható technológiai út kiválasztása az adott acélműi berendezések függvényében lehetséges. A továbbiakban az a.) szerinti variációt ismertetjük tuskóöntés esetén (vízszintes folyamatos öntőgép nincs telepítve hazánkban).

Elektroacélgyártás

A tapasztalat azt bizonyítja, hogy a gyorsacélok gyártására legalkalmasabb és leggazdaságosabb módszer – amennyiben a gyártók az ide vonatkozó előfeltételeket szigorúan betartják – az átolvasztásos gyártástechnológia [14].

Átolvasztásos technológia kivitelezése:

Az átolvasztásos eljárás alapanyagának megválasztása a rendelkezésre álló szelektált acélhulladékok kémiai összetételétől és fizikai tisztaságától függ.

Amennyiben tiszta, szelektáltan tárolt, saját minőségű (jelen esetben R2, vagy ennek megfelelő hulladék) áll rendelkezésre, úgy akár az adag teljes betétjét saját hulladékból lehet megtervezni. Amennyiben ilyen hulladék nincs, vagy csak részlegesen áll rendelkezésre, úgy a hulladékpótlást, az előzőleg erre célra gyártott „elektrobetét” használatával lehet megoldani, melynek összetétele (%): C < 0,04; Si: < 0,07, Mn < 0,20; P < 0,015; S < 0,015.

A kemencébe rakásnál az acélhulladékkal együtt kell az ötvözőfémeket beadagolni, úgy, hogy a nagy olvadáspontú FeW az elektródok közelébe kerüljön. A hulladék és ötvözők közötti teret forgáccsal célszerű kitölteni.

Beolvadás közben az elektródok háttéréibe égetett mészs adagolandó, úgy, hogy a teljes beolvadás végén legalább 2 %-nyi salak takarja be az acélfürdőt.

A salak redukálására kokszpor + Si por + Al gríz szakaszonkénti adagolásával lehet az elsalakult Cr, V, Si, Mn ötvözőket visszanyerni.

Amennyiben kialakul a kissé karbidos szürke, majd fehéres színű salak, mintavétel, majd a kapott eredmények alapján ötvözés-korrekciónak következik.

Az ötvözőfémeket stabilitásuk sorrendjében célszerű adagolni. A karbon nagy része ilyenkor a vaskarbidtól kezdve a legstabilabb fémkarbidig többször „gazdát cserél”, azaz egyik karbid szerkezetből kilép, a másikba belép. A többszöri karbidbomlás és új karbidképződés az eloszlást finomítja.

Amennyiben W ötvözés is szükséges, beolvadását az acél kb. 20 °C túlhevítésével és többszöri – fenék közeli – fürdőkavarással lehet elősegíteni.

Ha a kapott vegyi összetétel értékei és az acél hőmérséklete megfelelő, az adag csapolása elvégezhető.

Tuskóöntés

A lecsapolt acél öntési hőmérséklete öntöttvas kokillába öntés esetén a helyi viszonyoktól függően: 1500-1530 °C.

Az öntési sebességet az acél hőmérsékletén kívül a kokilla mérete is befolyásolja. A nagyméretű dendritágak és karbiddúsulások csökkentése érdekében az öntést az előírt hőmérséklet és öntési sebesség alsó határán célszerű végezni.

A leöntött tuskókat kokillából – a repedés elkerülése érdekében – csak teljes lehűlés után szabad eltávolítani.

Öntött tuskók lágyítása

Amennyiben a jobb kovácsolási felület elérése érdekében az öntött tuskók felületét gépi úton lehántolják a művelet megkönnyítése érdekében, ~ 850 °C hőmérsékleten lágyítást végeznek.

Alakítási hőmérsékletre hevítés

A tuskók hevítése két lépcsőben történik. Először a tuskókat kb. 800 °C-ra, majd kb. egy óras hőntartás után lassú (90 – 120 °C/óra) hevítési sebességgel ~1170 °C-ra hevítik, majd több óras hőntartás után, több lépcsőben (először gépi kalapáccsal majd automatikus vízszintes körkovácsoló géppel) készre alakítják. A készre kovácsolt darabokat – irányított visszahűtéssel – a kemencében hűtik le. Csepelen az 1957-ben bevezetett technológia szerint a készrehevítést sikerrel alkalmazták 1220 °C hőmérsékletű kemencében, 1150 °C-ig 160 °/óra hevítési sebességgel [67].

Gyorsacél öntött-tuskók minőségének elektrosalakos átolvasztással történő javítása.

A kokillába öntött tuskók dermedése közben, a dendritkristályok növekedésével párhuzamosan, jelentős mértékű karbiddúsulások is keletkezhetnek. Ezek átformálását (csökkentését) szolgálja a tuskók elektromos úton, tisztító-salakkezelés közbeni átolvasztása, majd kokillában való igen lassú lehűtése.

Az elektrosalakos átolvasztás lényegét az 50. ábra mutatja.

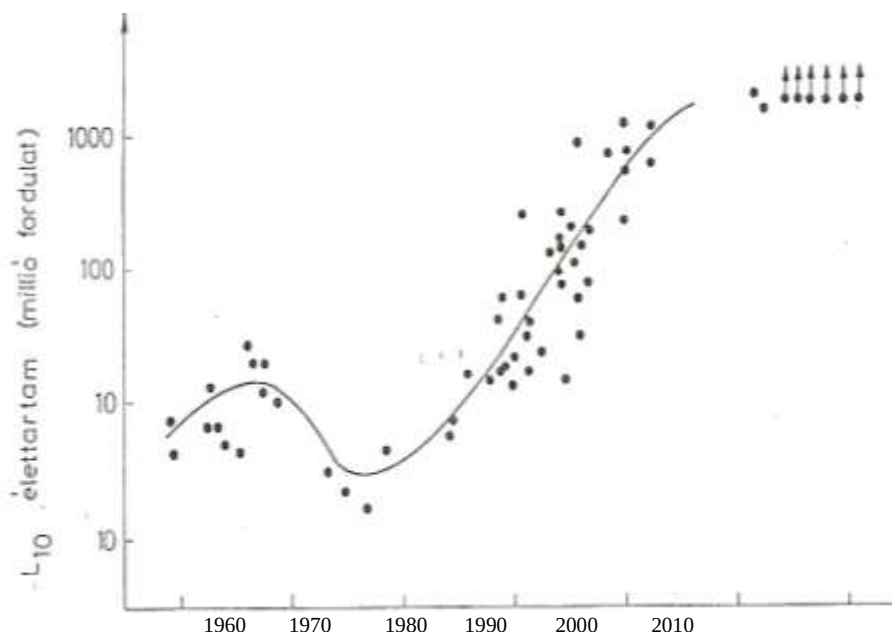
- Közúti-, vízi-, légi- járműipari, élet- és vagyon-védelmi valamint nukleáris felhasználás esetén, igen nagy tisztaságú erősen szigorított feltétfüzeti kivonatok szerint.

A fejlődő technikai megoldásokkal párhuzamosan a golyós- és görgőscsapágyacélok gyártástechnológiája a kifaradási szilárdság, forgácsolhatóság és a belső tisztaság javításának irányába fejlődött.

A kifaradási élettartamot az olyan metallurgiai tényezők, mint a belső tisztaság, az esetlegesen visszamaradó zárványok tulajdonsága befolyásolja. A zárványok közül különösen károsak a CaO-komponensű mikrozárványok, mert ezek nagy keménysége és ridegsége, a kifaradási határértéket erősen lecsökkentik. Hasonló hatása van a Ti-nak, amiért mind két ötvöző használata kerülendő.

A gördülőcsapágyak élettartamát – az esetlegesen jelen lévő zárványokon kívül – több tényező is befolyásolja. Ezek közül a karbiddúsulásoknak tulajdonítják a repedéses, vagy a fáradásos törés bekövetkezését.

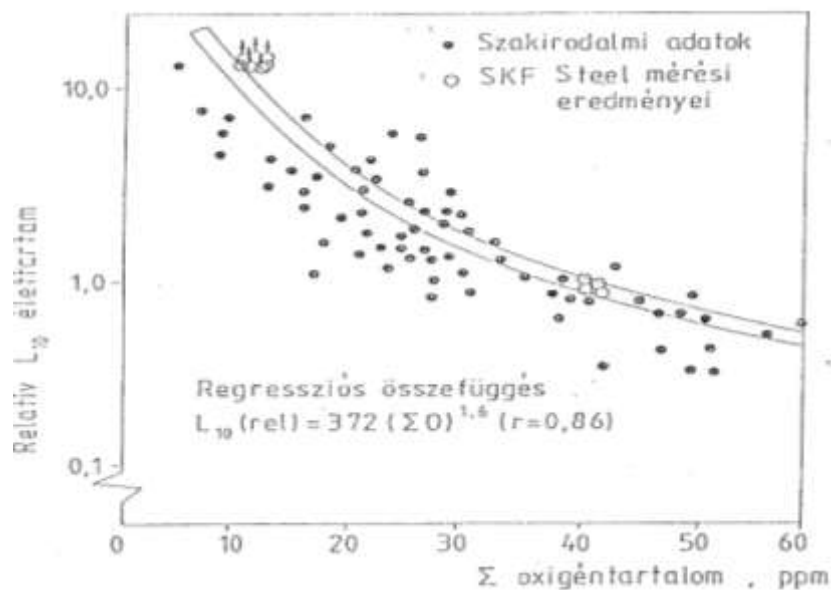
A korszerű csapágyacéloktól elvárt követelmény, hogy a használatuk közben fellépő koptató hatásoknak, illetve húzó-nyomó igénybevételeknek ellenálljanak. Az elvárások teljesüléséhez az acél fémfizikai tulajdonságainak a javítása, elsősorban a kopásállóság, keménység és szívósság növelése szükséges. Ezt fejlődési tendenciát szemlélteti az 51. ábra.



51. ábra Csapágyacélok élettartamának változása a technológiák fejlődésével [38].

Az élettartam szempontjából korlátozó tényező a csapágyacél kifaradása. Ennek oka az ún. pitting-ekben (kipattogzásokban) keresendő, melyek az igénybevételnek kitett felületeken, a felhalmozódott feszültségek hatására keletkeznek.

A feszültségeket főleg az acélban visszamaradó zárványok okozzák. Az élettartam egyértelmű javulása mutatható ki az acél tisztaságának növelésekor, melyet a oxigén-tartalom alakulásával követhetünk. (52. ábra).

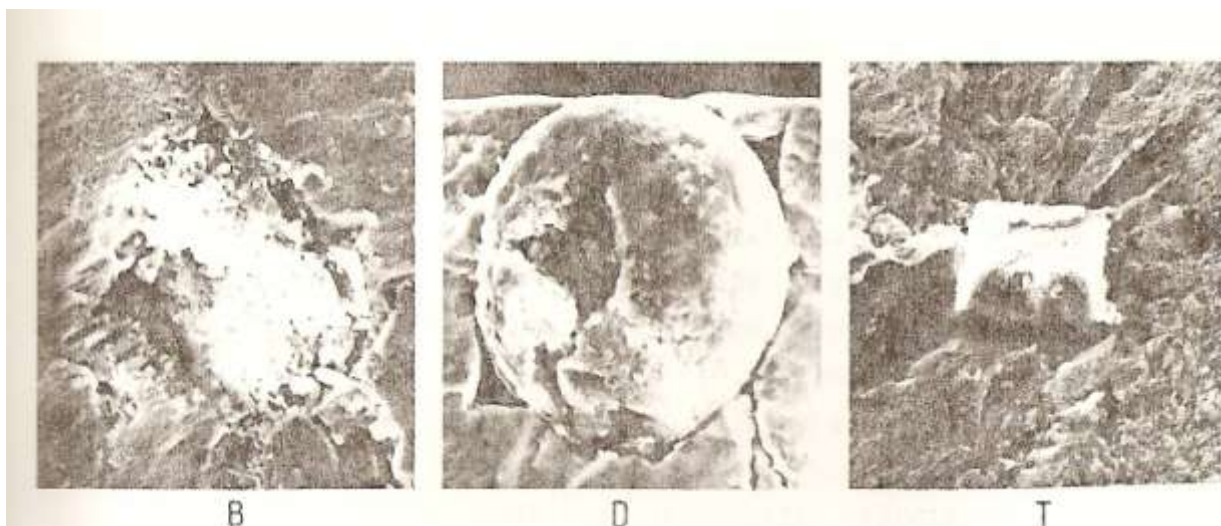


52. ábra Csapágyacélok élettartamának változása az összoxigén-tartalom függvényében [38]

A összoxigén-tartalom csökkentése azonban nem elegendő. Fontos tényező az előforduló zárványok összetétele, alakja (morfológiája), mérete, illetve méretek szerinti eloszlása.

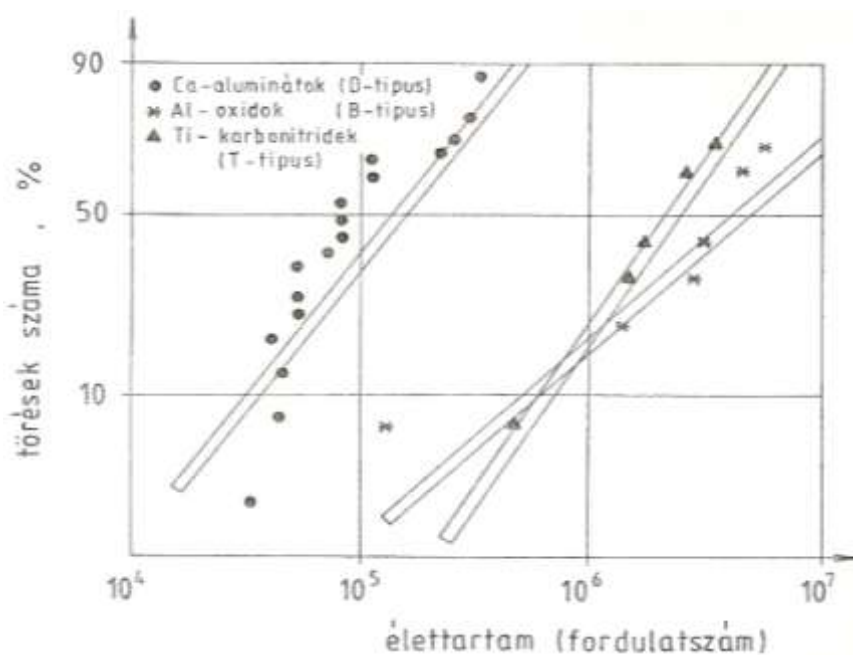
A csapágyacélokban található zárványok hatása a következőkben foglalhatók össze:

- „A” típus: szulfidok
Általában Mn-szulfid alakban vannak jelen, melyek jól alakíthatók.
- „B” típus: alumínium-oxidok (53. ábra. B-típus)
Nehezen alakíthatók, érdes felületük miatt éles, kemény bemetszést okozhatnak a csapágyacélokban.
- C” típus: szilikátok
A melegalakítás hőmérsékletén jól alakíthatók
- „D” típus. (53. ábra D-típus): (modifikált) gömbszerű Ca-aluminátok.
Nem alakíthatók, melegalakításkor megőrzik öntéskori alakjukat.
- „T” típus . (53. ábra. T-típus).
T-karbonitrid zárványok. Kedvezőtlen hatásuk hasonló a „B” típusúhoz.



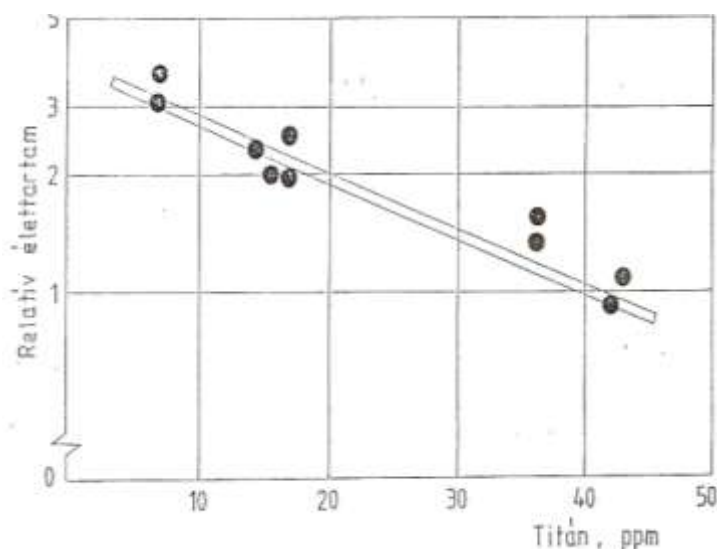
53. ábra Csapágyacélban kimutatható jellegzetes zárványtípusok [38]

Az 54. ábra a különböző zárványtípusok és az élettartam között fennálló fordított arányosságot szemlélteti.



54. ábra Csapágyacélok élettartamát kedvezőtlenül befolyásoló zárványtípusok [38]

Az acélgyártás során esetlegesen előforduló Ti-tartalom élettartamra gyakorolt negatív hatását az 55. ábrán külön is bemutatjuk.



55. ábra A Ti-tartalom kedvezőtlen hatása a csapágyacélok élettartamára [38]

A szabványokat vizsgálva megállapítható, hogy többségükben a „B” és „D” típusal jelölt zárványok szigorítása található, tekintettel arra, hogy az élettartam alakulására ezek jelenléte a legkedvezőtlenebb. Ezért az acélgyártás illetve üstmetallurgiai kezelés fontos feladata ezeknek a zárványoknak az eltávolítása. A folyamatot a folyékony acél összes-oxigén tartalmának mérésével lehet ellenőrizni.

Kíváncsi: a rendkívül kis összoxigén-tartalom ($< 10 \text{ g/t}$) elérése [38].

Csapágyacélok karbidossága

Az acélok kopásállóságát a nagy keménységű, egyenletesen eloszló karbidok biztosítják. El kell kerülni azonban, hogy ezek a karbidok, a megmunkálhatóságot, szívósságot, edzhetőséget rontó karbidsorokban és/vagy karbidhálók alakjában jelenjenek meg [39].

a.) Vas-króm karbidok szerepe a csapágyacélokban

A króm és a karbon a folyékony acél szükséges, nélkülözhetetlen alkotója, mivel a nagy keménységet és a kopásállóságot krómötvözással lehet biztosítani.

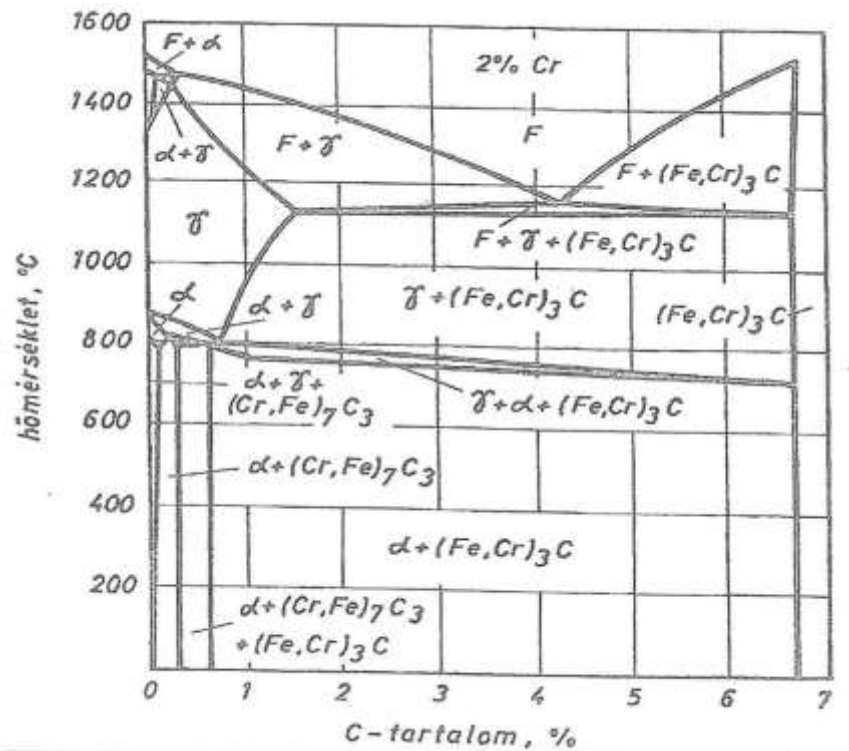
Az ötvözetlen, hipereutektoidos ($C > 0,8 \%$) acélok oldatlan karbidjai nem növelik a keménységet. Ha a karbidokban Cr is jelen van, akkor a kopásállóság mellett a keménység is növekszik. A $C > 0,8 \%$ tartalmú, ötvözetlen acél edzés utáni martenzites szövetének keménysége közel 1000 HV. Krómötvözással keletkező $(\text{FeCr})\text{C}_3$ karbidok keménysége viszont – a Cr-tartalom függvényében – 1300...1600 HV is lehet.

A gördülőcsapágyak egy része hipoeutektoidos krómacél. Ezekben a martenzit mellett más karbidok nincsenek. A gördülő csapágyak nagyobb része viszont hipereutektoidos krómacél, amelyek edzett szövetében fontos szerepet játszanak az oldatlan vas-króm-karbidok. Ezek növelik a csapágyacél használati értékét.

Ideális a szövet akkor, ha ezek az oldatlan szekunder karbidok egyenletes eloszlásúak. A csomós, hálós vagy soros elhelyezkedésű karbidok rontják az acél minőségét. Az ilyen karbiddúsulásokat alkotó karbidok nem ausztenitből kivált karbidok, hanem az acél kristályosodásakor primeren kristályosodó karbidformátumok széttöredezett maradványai.

b.) Csapágyacél primer kristályszerkezete

Az 1 % C- és 1,5% Cr-tartalmú csapágyacélok primerszövetében a kristályosodást kísérő mikro- és makro-dúsulásokban eutektikus (ledeburitos) csomók és primerkarbidok találhatók. Ezek közelítően nyomon követhetők az 56. ábrán látható 2 % Cr-ot tartalmazó Fe-C-Cr- ötvözet egyensúlyi diagramon.



56. ábra 2 % Cr-ot tartalmazó Fe-C-Cr-ötvözet egyensúlyi diagramja [39]

Az 56. diagramból kitűnik, hogy a 2 % króm már jelentősen szűkíti a γ -mezőt és szélesíti a kétfázisú egyensúlyi mezőt azzal, hogy az egyensúlyi diagram E pontját 2 % C-tartalomtól 1,5 % C-tartalomig tolja el. A diagram azt is mutatja, hogy az ötvözött cementiten kívül $(CrFe)_7C_3$ karbid is van jelen, mint átalakulási termék.

A krómos rendszer 1 % C –tartalmú ötvözetének utolsó megdermedő olvadákfázisa közel 4 % C-t tartalmaz, míg a Cr nélküli Fe-C-ötvözeté alig több mint 2%-ot.

Ha figyelembe vesszük, hogy az 1 % C-t tartalmazó ötvözetlen acél primerszövetében a helyenkénti dúsulások miatt ledeburit is kristályosodik, akkor szinte elkerülhetetlen, hogy a csapágyacélokban ne legyen jelen ledeburit vagy primerkarbid. Mennyiségüket és elhelyezkedésüket azonban metallurgiai, alakítási és hőkezelési műveletekkel korlátozni lehet.

A csapágyacél primerszerkezetét befolyásoló metallurgiai tényezők

Ha a csapágyacél kristályosodásába fizikai módszerrel beavatkozunk, akkor a módszerek hatékonyságától függően módosítható a kristályosodás folyamata. Megváltoztathatók a dúsulási viszonyok, olyan primerkarbidok is kialakíthatók, amelyekben a karbidfázis másféle alakot ölthet, sőt létrejötte meg is akadályozható.

A kialakuló karbiddúsulások szétosztására korlátozott lehetőséget adnak a következő módszerek:

- a tuskó vagy öntött buga és hengerelt buga homogenizáló (diffúziós) izzítása,
- az átalakítási-szám (eredeti keresztmetszet/alakított keresztmetszet) növelése.

A fenti folyamatok többségében a fő szerepet a diffúzió játssza. A javító szándékú beavatkozás akkor hatékonyabb, ha a diffúziós sebességet növelni lehet. Olvadék fázisban eredményes beavatkozás a fürdőkeverés. Kristályos állapotban képlékeny alakítással lehet a karbidokat aprózni, és hosszú ideig (60...70 óra) tartó hőkezeléssel (~1100 °C-os diffúziós izzítással) lehet további eredményt elérni.

Karbidosság csökkentése érdekében acélgyártásnál eleve kerülni kell az olyan ötvözőket, amelyekben ledeburit ill. primerkarbidok vannak. Ezért nem előnyös a nagy karbon- tartalmú ($C \sim 7\%$) FeCr használata csapolás közben vagy az üstkemencében, mert a beadagolt FeCr-karburé nagy olvadáspontú karbidcsomói nem oldódnak fel maradéktalanul az acélban, hanem kristályosodás közben idegen anyagként viselkednek.

Acélgyártásnál használt FeCr karbon tartalma 0,03-tól 7 %-ig változik. Utóbbi esetben az uralkodó karbid 1780 °C olvadáspontú Cr_7C_3 , illetve $(Cr,Fe)_7C_3$, ami a karbid sorosság egyik okozója. Ha a FeCr ötvözőfém karbon tartalma 3 %-nál kisebb, akkor 1500 °C olvadáspontú $(C, Fe)_{23}C_6$ alakul ki, amely már könnyen oldódik az acélban

A golyóscsapágyacélok egyaránt önthetők hagyományos tuskó- vagy folyamatos öntésű technológiákkal.

A golyóscsapágyak öntésénél, a dendritágak közötti mikrodúsulás és a kristályosodás közbeni – az öntött tuskón vagy öntött bugán belüli – makrodúsulás a kristályosító-technológiák gyakorlatában elkerülhetetlen. Mindkét dúsulási forma szerepet játszik abban, hogy a csapágyacélokban még a gyártás után, azaz alkatrész gyártásakor is jelen vannak karbidok.

Igen nagy tisztaságú, növelt élettartamú gördülőcsapágy-acélok gyártástechnológiája

A csapágyacélok minőségében jelentős javulás akkor következett be, amikor a szekunder metallurgia különvált a primer acélgyártástól és az acél kikészítését kombinált üstmetallurgiai kezeléssel oldották meg, melyek közül az egyik leghatékonyabb eljárás a svéd ASEA-SKF eljárás.

Az eljárás előnye az üstkemence flexibilitásának tulajdonítható. Az indukciós és az ezzel párhuzamos argonos keverés jó lehetőséget teremt a nemfemes zárványok hatásos kiválasztására, és kémiai szempontból is homogén acélt biztosít, ami egyenletes forgácsolhatóságot, edzhetőséget eredményez.

A vákuum alatti karbonos-dezoxidáció segíti az oxigénszint csökkentését, valamint lehetővé teszi az igen kis (mikro- és nano) méretű zárványok salakba felúszását és a gáztartalom csökkentését.

Lényeges szempont továbbá, hogy a már jól dezoxidált, zárványtalanított és kéntelenített acél, védve legyen az újra oxidálással szemben. Ezért különösen fontos, hogy az acél öntése a környező levegő kizárásával, hatékony acélsugár-védelemmel történjen.

A nagy tisztaságú csapágyacélok nagyüzemi gyártásának a kivitelezését a következőkben ismertetjük [40].

A gyakorlatban általánosan használt csapágyacél minőség a 100Cr6 jelű csapágyacél, amelynek a kémiai összetétele a 24. táblázatban látható.

24. táblázat A 100 Cr6 jelű csapágyacél kémiai összetétele %-ban [41]

Megnevezés	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Al	Ca, Ti
min.	0,95	0,17	0,20			1,30		0,02	
max.	1,05	0,37	0,40	0,025	0,015	1,65	0,25	0,04	

A nagy tisztaságú csapágyacélok technológiai és minőségi követelményei a következők:

Acélgyártási technológia:	UHP vagy LD → Kombinált üstmetallurgiai kezelés → Zárt rendszerű folyamatos öntés
Átmunkálási szám:	min. 15, golyóknál: min. 25
Szemcsenagyság:	DIN 50601:1985 szerinti 8 vagy finomabb fokozat
Összes oxigéntartalom:	max. 12 ppm, golyóknál: max. 7 ppm
Hidegnyírhatóság:	207 - 229 HB hengerelt állapotban
Dekarbonizáció:	$\varnothing \leq 10$ mm: max. 0,8 mm mélység, felette: 0,008 x d
Karbidosság :	kiterjed a karbidméret-, karbidsor-, karbidháló- előírásokra. A karbidméret max. 2-2.3 lehet, karbidhálónál a max. 5.1 fokozat, karbidsornál a max 7.3 fokozat a megengedett.

A csapágyacélok gyártásánál a szigorítások teljesítéséhez, az acélgyártási technológia fejlesztésén kívül, a késztermék gyártásával összefüggő összes technológiai láncolat (acélgyártás, hengerlés, hőkezelés, kikészítés) fejlesztése is szükséges, ez közel 50-féle technológiai szakasz végrehajtását és időközönként az alapanyag szigorú ellenőrzését jelenti.

Amennyiben a karbidsorra és karbidhálóra vonatkozó, igen szigorú előírások betartása az acélgyártással nem biztosítható, készrehengerlés előtt – 60...70 órás diffúziós izzításos hőkezelést is be kell iktatni a technológiába. Ez még ma is gyakorta a tuskóöntést, ill. az öntött tuskókból történő hengerlést igényli, de a technológiák fejlesztésével (vákuum-karbon-dezoxidálás, reoxidáció védelem stb.) elért igen nagy belső tisztaság ($\sum O < 10$ ppm) lehetővé tette – golyók és görgők kivételével – a csapágyacélok tuskóöntésének kiváltását zárt rendszerű folyamatos öntéssel.

3.2.4. Kiemelt fontosságú speciális acélok

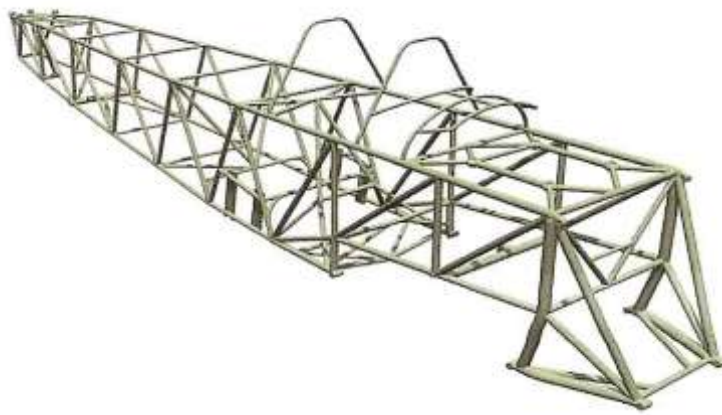
3.2.4.1. Repülés, rakéta és űrhajózás szerkezeti anyagai

A légtechnikai, űrkutatási anyagokkal szemben különleges minőségi követelmények merülnek fel [42]:

- kis tömeg,

- nagy szilárdság, megfelelő rugalmasság,
- igen nagy és igen kis hőmérséklettel szembeni ellenállás, kis hőtágulás mellett,
- kedvező kifáradási tulajdonság,
- dinamikus hatásokkal szembeni ellenállás,
- korrózióállóság,
- világűrben uralkodó hatásokkal (szélsőséges hőmérséklet, meteoritszemcsék megjelenése, naptevékenységi sugárzások stb.) szembeni védettség.

A repülőgépek szerkezeti anyagai közül a vázszerkezetek napjainkban is nagyszilárdságú acélokból (57. és 58. ábra), a nagy hőmérsékleten üzemelő turbinák környezetét pedig hő- és korrózióálló acélokból készítik. A szerkezet többi részeinél, főleg a Ti és ötvözetei, újabban a Be-, Al-szuperötvözetek, különféle szálerősítéses anyagok (grafit-, bórszál erősítéses kompozit) és a Co-Nb-mátrixú anyagok alkalmazása terjedt el.



57. ábra Acélcsővázból hegesztett rácsszerkezetű repülőgéptörzs [42]



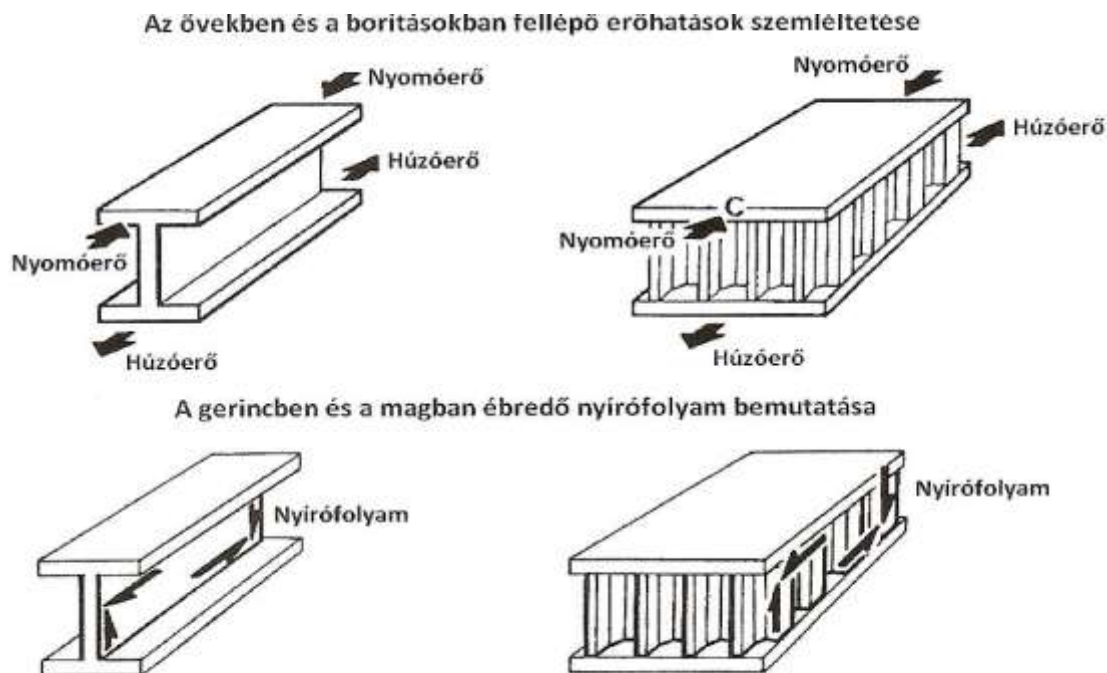
58. ábra Acéltartókkal erősített utasszállító repülőgéptörzs kialakítása [42]

Az 59. ábra egy repülőgépszárny csatlakoztatására szolgáló, nemesíthető acélból készült idomot szemléltet.



59. ábra B-737-es repülőgépszárny csatlakoztatásának módja [42]

A legújabb megoldásoknál az acéltartók kiváltását fémes- és nem fémes anyagok kombinációjából készült szendvicsszerkezettel igyekeznek megoldani (60. ábra). Ezek előnye főleg a tömeg- és a merevség csökkentésében mutatkozik. Hátrányként említhető a kisebb ütészállóság, csapszeges kötés helyett hegesztéses, ragasztásos csatlakoztatás és a nagyobb gyártási költség.



60. ábra Az I-gerenda és szendvics panel összehasonlítása [42]

Korszerű repülőgépek kötőelemei korábban és jelenleg is nagyszilárdságú karbonacélokból (pl. St 52-3), erősen ötvöztött korrózió- és hőálló acélokból (pl. H-11, AISI 304), és különleges szuperötvözetekből (pl. Ti-, Al- (Ti614V) készülnek.

A kötőelemek oldható (csavarkötés) és nem oldható (szegecselt, hegesztett, ragasztott) kivitelűek lehetnek. A szegecskötés nagy előnye, hogy ez az egyetlen olyan kötőelem, amelynek növekszik a szilárdsága beépítésnél. Az alkalmazott szegecs típusok a 61. ábrán láthatók.



61. ábra Acél vakszegecsek [42]

3.2.4.2. Atomipari acélminőségek

Atomreaktorok szerkezeti részéhez több ezer tonna növelt folyáshatárú, jól hegeszthető ötvöztött acélt, a biztonsági vízhálózathoz és víztartályhoz több száz tonna ausztenites ELC típusú, kristályközi korrózióra nem hajlamos korrózióálló acélt, és a reaktormag körül, közel 100 tonna erősen ötvöztött hőállóacélt használnak fel egy közepes teljesítményű atomerőmű építésénél [42].

Az acélminőség kiválasztásánál fontos tényező, hogy a reaktor üzeméhez kiválasztott acélminőségek kis neutronabszorpciós tulajdonsággal rendelkezzenek. Az atomreaktort lekapcsoló védelemnél ezzel ellentétben, nagy neutron elnyelő képességű acélok kiválasztása kívánatos.

Az egyes elemek neutron elnyelő képessége a 25. táblázatban látható, melyből az is kiolvasható, hogy a bór igen nagy neutron elnyelő képességgel rendelkezik (26. táblázat), ezért jelentős az atomipari használatuk.

A bór ötvöztetésű acélok gyártása, a ZF minőségcsoportnál bemutatott bór mikroötvöztetéses technológia szerint történhet.

Vízhűtésű atomreaktorok építésénél használatos fontosabb minőségi- és nemesacélok ötvözőelemei:

- Nagy nyomásnak kitett reaktortartály: közepesen ötvöztött Mn-Mo-B; Mn-Ni; Cr-Mo-Ni-B-V –os acélok,
- Reaktormag: erősen ötvöztött Cr-Ni-es acélok;
- Gőzellátó csőrendszer: nagy Ni tartalmú szuperötvözetek.

Az atomipari célú minőségek gyártását a legnagyobb gondossággal, szigorú ellenőrzés mellett kell végezni, különös tekintettel a minőségi és biztonsági előírások szigorú betartására!

Az említett acélminőségek gyártása a korrózióálló acéloknál és a hőállóacéloknál ismertetett gyártástechnológia szerint történhet.

25. táblázat Atomos elnyelőképesség termikus elektronokra [32,42]

Kis elnyelőképeségű elemek max. 1 barn/atom		Közepes elnyelőképeségű elemek 1...10 barn/atom		Nagy elnyelőképeségű elemek min. 10 barn/atom	
Elem	Elnyelő szelvény, barn/atom	Elem	Elnyelő szelvény, barn/atom	Elem	Elnyelőszelvény, barn/atom
O	max. 0,0002	Zn	1,06	Se	11,8
C	0,0045	Nb	1,1	Mn	12,6
Be	0,0090	Sr	1,16	Os	14,7
F	0,010	Ba	1,18	W	19,2
Bi	0,032	N	1,78	Ta	21,3
Mg	0,059	K	1,97	Cs	29
Si	0,13	Ge	2,35	Cl	31,6
Pb	0,17	Mo	2,4	Co	34,8
Zr	0,18	Fe	2,43	Ag	60
P	0,19	Ga	2,71	Li	67
Al	0,215	Cr	2,9	Au	94
H	0,330	Tl	3,3	Hf	115
Ca	0,43	Cu	3,59	Rh	150
Na	0,49	As	4,1	In	190
S	0,49	Ni	4,5	Hg	380
Sn	0,65	Te	4,5	Ir	440
Ce	0,70	V	4,7	B	750
		Ti	5,6	Cd	2400
		Sb	6,4	Eu	4500
		Br	6,5	Sm	6500
		J	6,7	Gd	44 000
		Pd	8,0		
		Pt	8,1		

Az atomreaktorok neutronelnyelő acéltípusait mutatja be a 26. táblázat.

26. táblázat Neutron elnyelő acéltípusok [32,42]

Az acél- fajta sor- száma	Összetétel, %					Mechanikai tulajdonságok				
	C	Cr	Ni	B	Co max.	Szakító- szilárdság, MPa	Folyáshatár, MPa	Nyúlás %	Ütőmunka, J	
									20 °C	—50 °C
1	0,05	24	13,5	1,9	0,15	690	490	10	7	7
2	max. 0,06	21,5	10,5	1,0	0,15	640	390	20	27	24
3	max. 0,09			2,0	0,05	590	490	7	3	3
4	0,09			1,0	0,05	490	390	15	7	3

4. MINŐSÉGBIZTOSÍTÁS AZ ACÉLGYÁRTÁSBAN

4.1. Az egységes nemzetközi minőségügyi rendszer kialakulása, bevezetésének szükségyszerűsége.

A minőségnek, mint fogalomnak a kialakulása még az *Őskorra* vezethető vissza, amikor az őseimbek, a természetben található javak közül azoknak a birtoklására törekedtek, melyek igényeiknek legjobban megfeleltek. A minőség ebben a formában az *önellenőrzésre terjedt ki*.

Az fogyasztói követelmények fokozódásával, az *Ókori emberek* önellenőrzés helyett áttértek, a termelők és fogyasztók közötti *közvetlen minőségellenőrzési* formára.

A *Középkorban* hamar felismerték, hogy a termékcsere gazdálkodáshoz szükség van a termékek értékével összefüggő minőségi paraméterek (méret, tömeg, alak stb.) egyértelmű meghatározására, írásban történő rögzítésére. Így alakultak ki pl. az emberi testrészekkel jellemzett hüvelyk, láb, öl stb. mértékegységek. Ezek lehetővé tették a termelők és fogyasztók közötti *közvetlen kapcsolatot*. A mértékegységek és mérőberendezések fejlődésével fokozatosan áttértek a termékek *közvetett minőségellenőrzésére*, amikor a végtermék ellenőrzése volt az átadás-átvétel feltétele.

Az *Újkor és a Legújabbkor* gyors ütemű ipari-technikai fejlődése, valamint a II. világháború hadiipari termelése megkövetelte a minőségbiztosítás további fejlesztését. Felismerték, hogy a végtermékre korlátozott minőség-ellenőrzés nem ad elegendő biztonságot a termékek megfelelőségére, hanem szükség van egy olyan, *vertikális minőségbiztosítási rendszerre*, amely a teljes (vertikális) termelési folyamatot átfogja. Ez a rendszer nem csak a szabványokra vagy a késztermék minősítésére terjed ki, hanem meghatározza a termelési folyamat minden mozzanatát (piacfeltárás, gyártástervezés, technológiakészítés, kereskedelem) beleértve az esetlegesen bekövetkező hibák megelőzését és a termékfelelősségi törvény érvényesítését [43]

*

A vertikális minőségbiztosítási rendszer kifejlesztésében a Brit Szabványügyi Intézet járt élen, ahol a BS 5750-1979 szabványban először, majd az átdolgozott BS 5750-1987 szabványban már *nemzetközi előírásokkal* is bővítve rögzítették a minőségügyi követelményeket.

Ez utóbbin alapult a *Nemzetközi Szabványügyi Szervezet* (International Organization for Standardization: ISO) által 1987. év végén kiadott ISO 9000-es szabványsorozat (ISO 9001, ISO 9002, ISO 9003, ISO 9004), melyet a Magyar Szabványügyi Hivatal az EURONORM Szabványügyi Hivatallal közösen, MSZ EN 2900-1993-as szabványsorozatban, majd továbbfejlesztett változatban ISO 9000-1994-es szabványsorozatban adott ki.

Az ISO 9001-es társszabvány sorozatába tartozik az MSZ EN ISO 1400-es Környezetközpon-tú irányítási rendszere, és az MSZ EN ISO/IEC 17025. Vizsgáló- és kalibráló-laboratóriumokra vonatkozó szabvány. Ezeket fogja össze az ISO 9001-es INTEGRÁLT MI-NŐSÉGÜGYI RENDSZER, amelyhez az egyes iparágak szabványai is csatlakoztathatók. Ilyen pl. a QS 900-es járműipari beszállítókra vonatkozó szabvány.

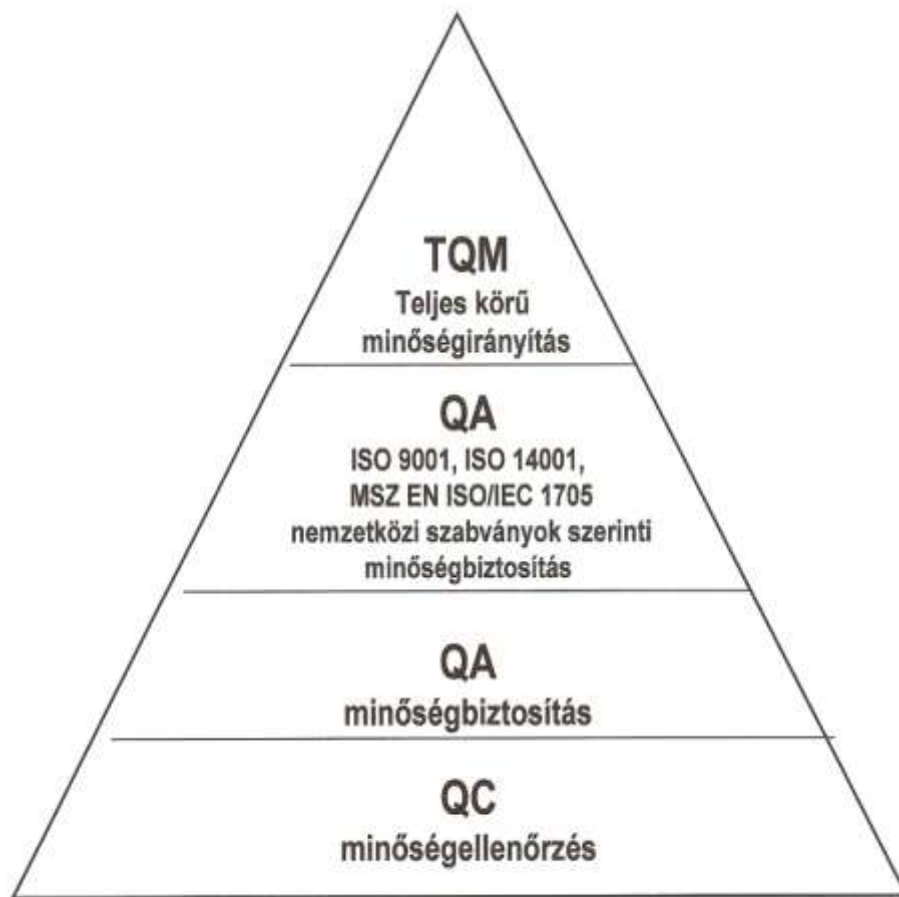
A szabványsorozatok 4-5 évenkénti felülvizsgálása és a tovább fejlesztett, illetve megújított szabványok kiadása a CEN (Comité Européen de Normalisation) szervezet hatáskörébe tartozik..

A legújabb EN ISO 9001-es szabványsorozatot a CEN 2008. évben adta ki. A szervezet tag-testületei sorában van hazánk is, így a CEN Szervezeti Szabályzatának megfelelően ezt a szabványt kötelesek vagyunk bevezetni, és alkalmazni.

*

A minőségirányítás tovább fejlesztésén sokan dolgoznak. Ennek egyik fontos eredménye a Teljes-körű Minőségirányítás (Total Quality Management: TQM) kidolgozása és több vállalatnál történő bevezetése.

A minőségügyi rendszer előzőekben bemutatott fejlődését – piramis-szerű felépítéssel – az 57. ábrán láthatjuk.



62. ábra A minőségbiztosítás fejlődésének piramisos felépítése

4.2. Minőségbiztosítási fogalmak

Az alkalmazott minőségbiztosítási illetve minőségirányítási alapfogalmak az MSZ EN ISO 9001: 2009-as szabványsorozat és az ISO 8402-2009-es szabvány alapján a következők szerint foglalkozhatók össze [44-45]:

Minőség: Quality – latin kifejezésből ered, jelentése: „ahogy megalkotva”., más megfogalmazásban: „a termékek és tulajdonságoknak olyan összessége, amelyek alkalmassá teszik kifejezett vagy latens (rejtett) igények kielégítésére.

A minőség kielégítése a termék használati értékében testesül meg, melyet előállításuk folyamán, a vonatkozó gyártási előírások, technológiák, minőségbiztosítási utasítások alapján kell megvalósítani. Tehát a „minőséget bele kell gyártani a termékbe”! Forgalomba hozásuk esetén pedig, az erre illetékes szervezetnek minőségtanúsítási bizonylatot kell kiállítania.

Minőségpolitika: A felsővezetőség (management) által kinyilvánított gazdaságpolitika azon része, amely a termék vagy szolgáltatás minőségére vonatkozó célkitűzéseket tartalmazza.

Minőségellenőrzés: A termelés feltételeinek ellenőrzése a fél- és késztermékek vizsgálatán keresztül.

Önellőrzés: A gyártásközi minőségellenőrzésnek az a módja, amikor a vizsgálatot és a minősítést maguk a terméket előállító dolgozók végzik.

Minőségbiztosítás: A tervezett minőségi kritériumok eléréséhez szükséges tárgyi, személyi és anyagi feltételek megteremtése, és a termék előállításához szükséges összes intézkedések, folyamatok minőségügyi kézikönyvben leírtak szerinti működtetése.

Minőségbiztosítási rendszer: A minőségirányításhoz szükséges szervezeti felépítés, hatáskörök, ügyrendi eljárások, folyamatok, és források összehangolt egysége.

Minőséghurok: A termék vagy szolgáltatás minőségét befolyásoló tevékenységek elvi modellje.

Minőségirányítás: Az általános vezetői tevékenységeknek azon része, amely a minőségpolitikát kidolgozza, megvalósítja, és folyamatosan fejleszti.

Minőségtervezés: A minőségi jellemzők kiválasztása, osztályozása, súlyozása és az elérendő követelmények megvalósításához szükséges eszközök, berendezések, módszerek meghatározása

Minőségvezetés: Az előírt követelmények eléréséhez szükséges intézkedések megtétele: hiba megelőzési, felügyeleti és módosítási rendelkezések megtétele.

Minőségvizsgálat: Az előírt minőségi jellemzők vizsgálata, megfelelési értékelések végzése

Hiba: Egy meghatározott előírás nincs kielégítve. Lehet javítható és a termék selejtté okozó hiba.

Selejt:	Olyan hibás termék, melynek egy vagy több minőségi jellemzője olyan mértékben tér el a követelményektől, hogy emiatt rendeltetésének nem, vagy csak javítás után felel meg a követelményeknek.
Rejtett hiba:	Olyan hiba, amely az előírt vizsgálatok elvégzésével nem állapítható meg, csak a felhasználáskor jelentkezik.
Termék:	A termelés vagy szolgáltatás eredményeként létrejövő, szükségletek kielégítését szolgáló anyag vagy tárgy.
Szolgáltatás:	A szállító és vevő között létrejött egyezmény szerinti materiális vagy immateriális tevékenység.
Tétel.	A terméknek az a része, amely egy azonos minőségi körülményt fejez ki.
Vizsgálat.	Olyan eljárás, amellyel a termék jellemzőit megállapítják.
Minősítés:	A vizsgálat eredményeinek összehasonlítása az előírt követelményekkel és ez alapján hozott döntés, arról, hogy a termék megfelel-e kívánalmaknak.
Minőségi bizonyítvány:	A termék minőségét tanúsító olyan okirat, amelyben a szolgáltató fél a termék lényeges minőségi tulajdonságait szabatos műszaki adatokkal, a mérhető tulajdonságokat pedig mérési eredményekkel tanúsítja.
Minta (próba):	A termék sokaság vagy a termék olyan darabja vagy mennyisége, amely annak egy vagy több tulajdonságát képviseli.
Reklamáció:	A termék minőségi hibájának és az ebből származó igényeknek előírt határidőn belüli közlése a gyártó felé.
Jótállás:	A gyártó garanciája, hogy a termék meghatározott időtartamig vagy teljesítményig hibamentesen felhasználható.
Auditálás:	Hivatalosan felhatalmazott szervezet vagy személy(ek) által a helyszínen végrehajtott minőségi felülvizsgálat. Az ellenőrzés kiterjedhet termékekre, technológiára, termelési folyamatra.
Approbálás:	Megfelelő hatáskörrel felruházott szerv nyilatkozata arról, hogy egy bizonyos termék (minőség) előállítási folyamata az előírásoknak megfelel és az ehhez szükséges feltételek a gyártómű rendelkezésére állnak.
Akkreditálás:	Hivatalos elismerés valamely vizsgáló laboratórium, meghatározott vizsgálat vagy vizsgálatípusok elvégzésének illetékességére.
Termékfelelősségi törvény:	A szavatossági időn belüli (általában 10 év), vagy külön megállapodás szerinti időn belüli kötelezettség, amely felelőssé teszi a gyártót a ter-

mék (vagy konstrukció) hibájából bekövetkező közvetlen, vagy közvetett és egyéb járulékos (összes) költségek megtérítésére.

Minőségi szabványok: Elismert és erre jogosult szervek által elfogadott és jóváhagyott dokumentumok. Tevékenységekre, vagy azok eredményeire vonatkoznak. Olyan szabályokat, útmutatókat vagy jellemzőket tartalmaznak, melyek alkalmazásával az elérhető hatás, az adott feltételek mellett a legkedvezőbb.

Termelő szervezetek minősítésének alapját a legyártott termékek, vagy szolgáltatások minősége képezi. A minőséggel szembeni igények világszerte egyre jobban növekedtek. Ez annak felismerése, hogy a tartósan jó gazdasági élet fenntartásához a minőség folytonos javítása szükséges.

4.3. A minőségbiztosítási rendszer felépítése, működtetése, tanúsítása

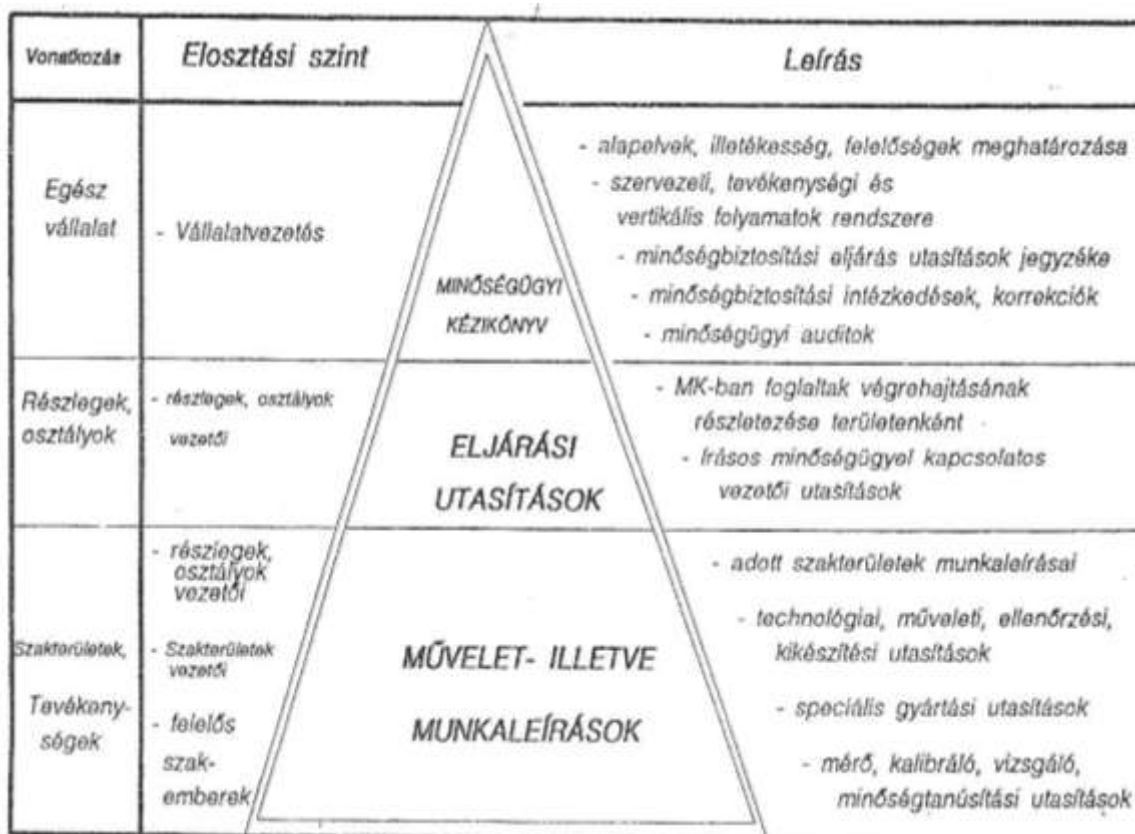
Valamely minőségbiztosítási rendszer megtervezése, megvalósítása, működtetése komoly feladatot jelent a menedzsment illetve a beosztott munkatársak részére, mivel ezek a feladatok felölelik és átfogják a vezetési funkciók és tevékenységek mindazon területeit, melyek meghatározzák a *minőség → stratégia → tervezés → biztosítás → és ellenőrzés* rendszerét.

A minőségbiztosítással kapcsolatos célokat a *minőségpolitikában* kell meghatározni, melynek tartalmi összetevőit az 58. ábra mutatja.



63. ábra Minőségpolitika stratégiai célkitűzései [43]

A minőségbiztosítási követelményeket, intézkedéseket és az ellenőrzési rendszert írásban kell szabályozni és dokumentálni. A minőségbiztosítási rendszer *dokumentációjának felépítését* piramisszerűen szokás ábrázolni, mely egyben hierarchikus kapcsolatot is jelent. Ezt szemlélteti az 59. ábra.



64. ábra Az ISO 9000-es szabványsorozat dokumentációinak hierarchikus felépítése [43]

A *Minőségügyi Kézikönyv*, a minőségpolitikán kívül tartalmazza:

- a szervezeti felépítést,
- a személyzet felelősségi- és hatásköreit,
- a minőségügyi rendszer működését,
- szerződéses viszonyokat,
- dokumentumok készítésének, használatának és ellenőrzésének rendjét,
- a beszerzés és a vevő által beszállított termék ellenőrzési és átvételi követelményeket,
- a termék azonosítását és nyomon követhetőségét,
- a folyamatok szabályozását,
- az ellenőrzés rendjét,
- a mérő- és vizsgálóberendezések hitelesítését,
- nem megfelelő termék kezelését,
- hibajavító tevékenységeket,
- a termék kezelésének, tárolásának, csomagolásának és szállításának követelményeit,
- a minőségi dokumentációk kezelését,
- a belső és külső auditok rendjét,
- a szakemberképzést,
- az ellenőrzési és hibajavítási módszereket
- valamint a vevő-centrikus szemlélet biztosítását.

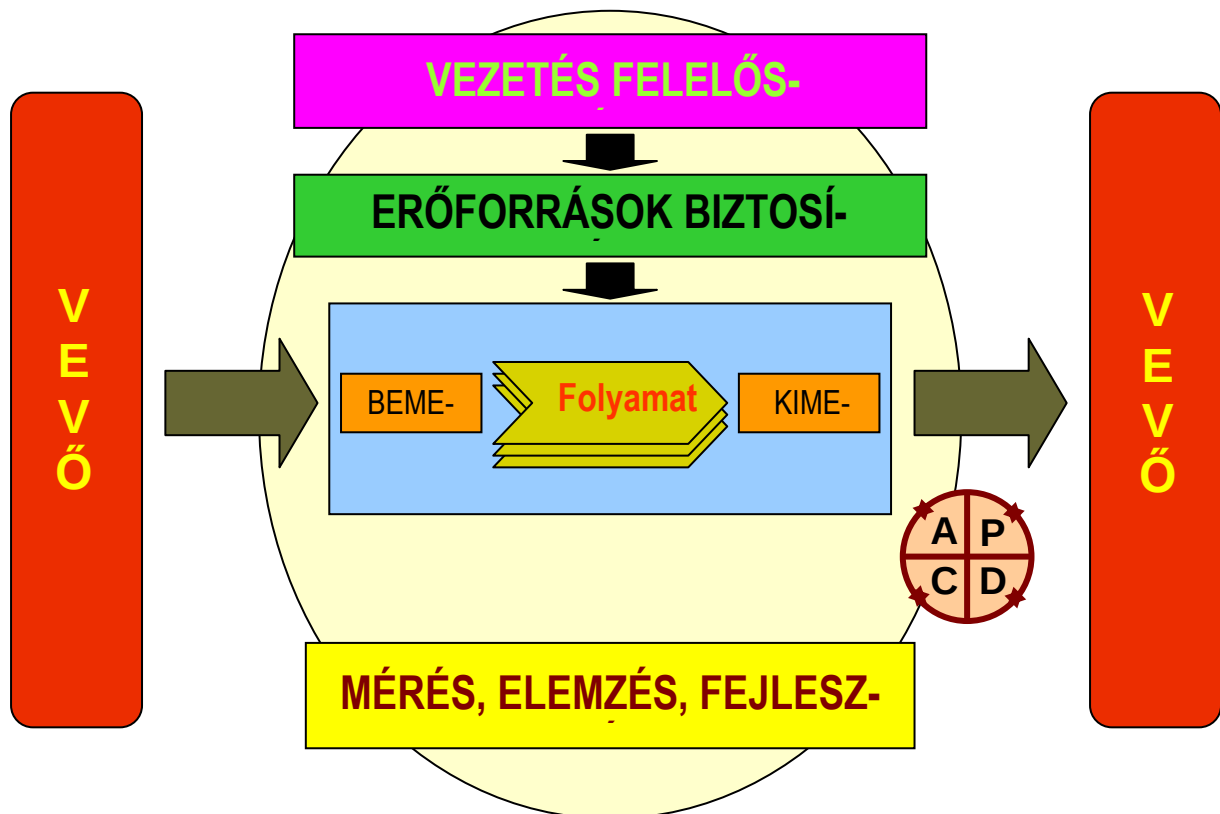
Az *Eljárási- és Műveleti Utasítások* készítését a Minőségügyi Kézikönyvhöz hozzárendelt formában, az érintett minőségügyi rendszerelemek számszerű azonosításával végzik. Az ezekben foglalt tevékenységek készítésének rendje az 59. ábrából kiolvasható.

A Dokumentumokban előírt követelmények ellenőrzése, rendszeres időközönként *belső auditok* formájában történik. Sikeres belső auditok után kerülhet sor, a Nemzetközi Minőségügyi Intézetek által kijelölt *külső auditorok* által történő felülvizsgálatra, illetve a megfelelés elismertetésére, melyet tanúsító nyilatkozattal (Zertifikat-al) igazolnak.

4.4. A minőségbiztosítás gyakorlati működtetése az acélgyártásban

Az acélgyártás vertikális megtervezésének (ami a betét előkészítéstől az öntés befejezéséig terjed), kiemelt jelentősége van a minőségi követelmények teljesítésével összefüggő technológiai láncolatok megtervezésének és a minőségbiztosítási utasításokban történő rögzítésének.

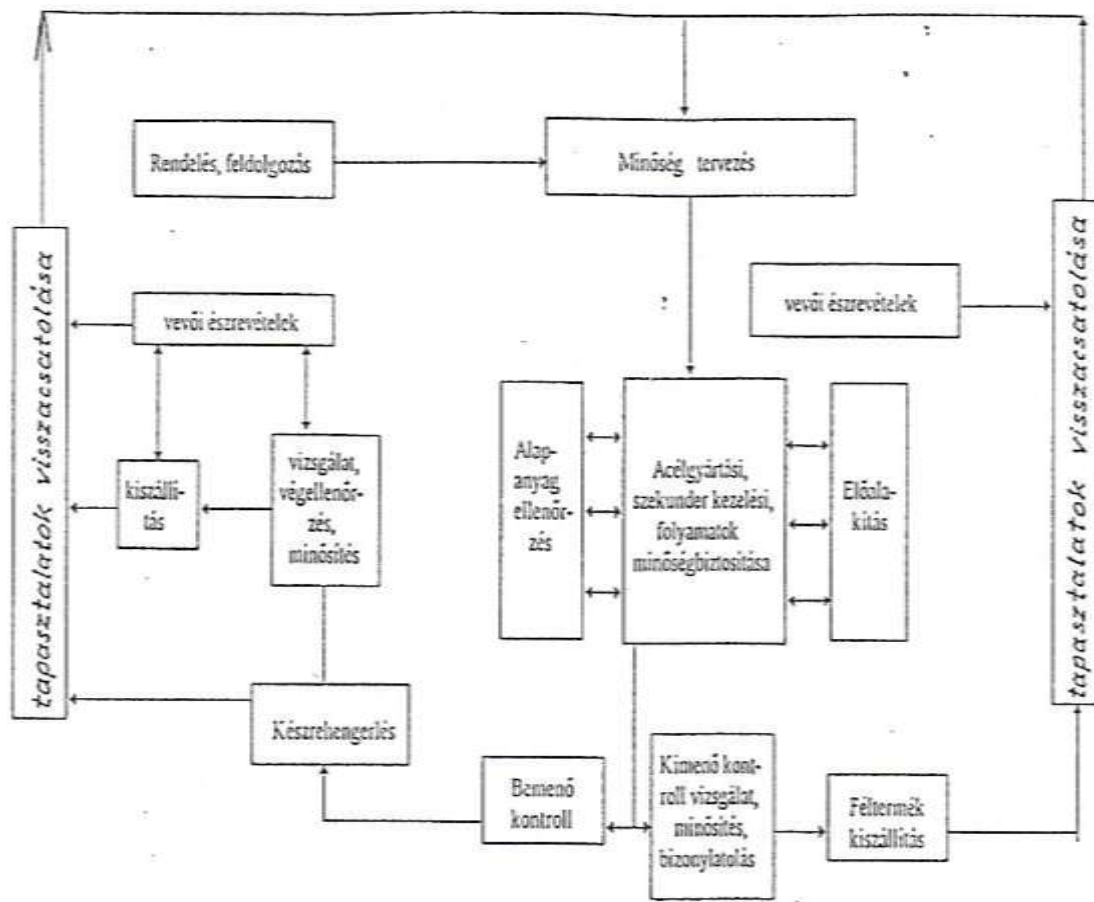
Már a vertikális technológia készítésének az elején lényeges feladatot jelent, a beérkezett rendelésekben megjelölt acéltermékek felhasználásával összefüggő minőségi előírások, feltétfüzeti szigorítások, egyéb kritériumok értelmezése, és ezek teljesítésével összefüggő technológiai útvonal (vagy gyártási műveletsor) megtervezése. Erre vonatkozó ajánlást tartalmaz az ISO 9001. szabványban található a 60. ábra.



65. ábra Minőség tervezési folyamatára (ISO 9001)

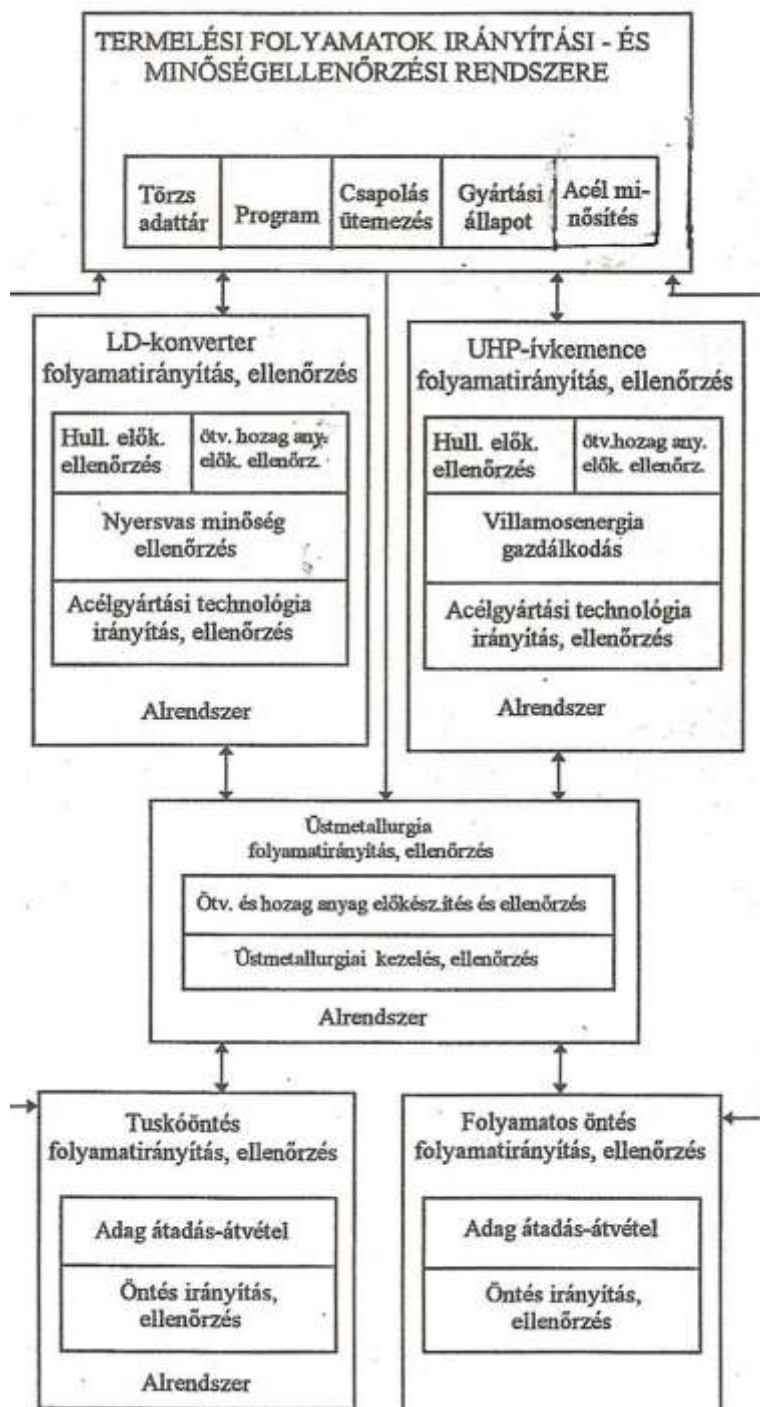
Az ISO 9001 szabvány által ajánlott minőségtervezés gyakorlatra lebontott változata látható a 60. ábrán. Az ábrából kitűnik, hogy a minőségirányítás zárt körfolyamatában, a tervezési fá-

zishoz visszacsatolt vevői, feldolgozási tapasztalatok is segítik a minőségfejlesztési tevékenységet.



66. ábra Az acélgártás vertikális technológiájának megtervezése és irányítási köre [43].

A korszerű acélművekben az acélgártás vertikális folyamatát számítógéppel támogatott minőségbiztosítással (Computer Aided Quality: CAQ) irányítják és ellenőrzik. Egy ilyen irányítási blokksémát mutat be a 62. ábra, ahol az LD-konverterben vagy ívkemencében történő acélgártás, üstmetallurgiai kezelés, folyamatos öntés kombinált technológiai útvonalának minőségi alrendszerekre lebontott változata látható.



67. ábra. Gyártási folyamatok számítógépes irányítási és minőségellenőrzési rendszere, kombinált technológiájú acélgyártás esetén.

A 62. ábrában látható alrendszerek acélgyártási és ellenőrzés folyamatait illetve kapcsolódási rendszerét részletesen is bemutatjuk.

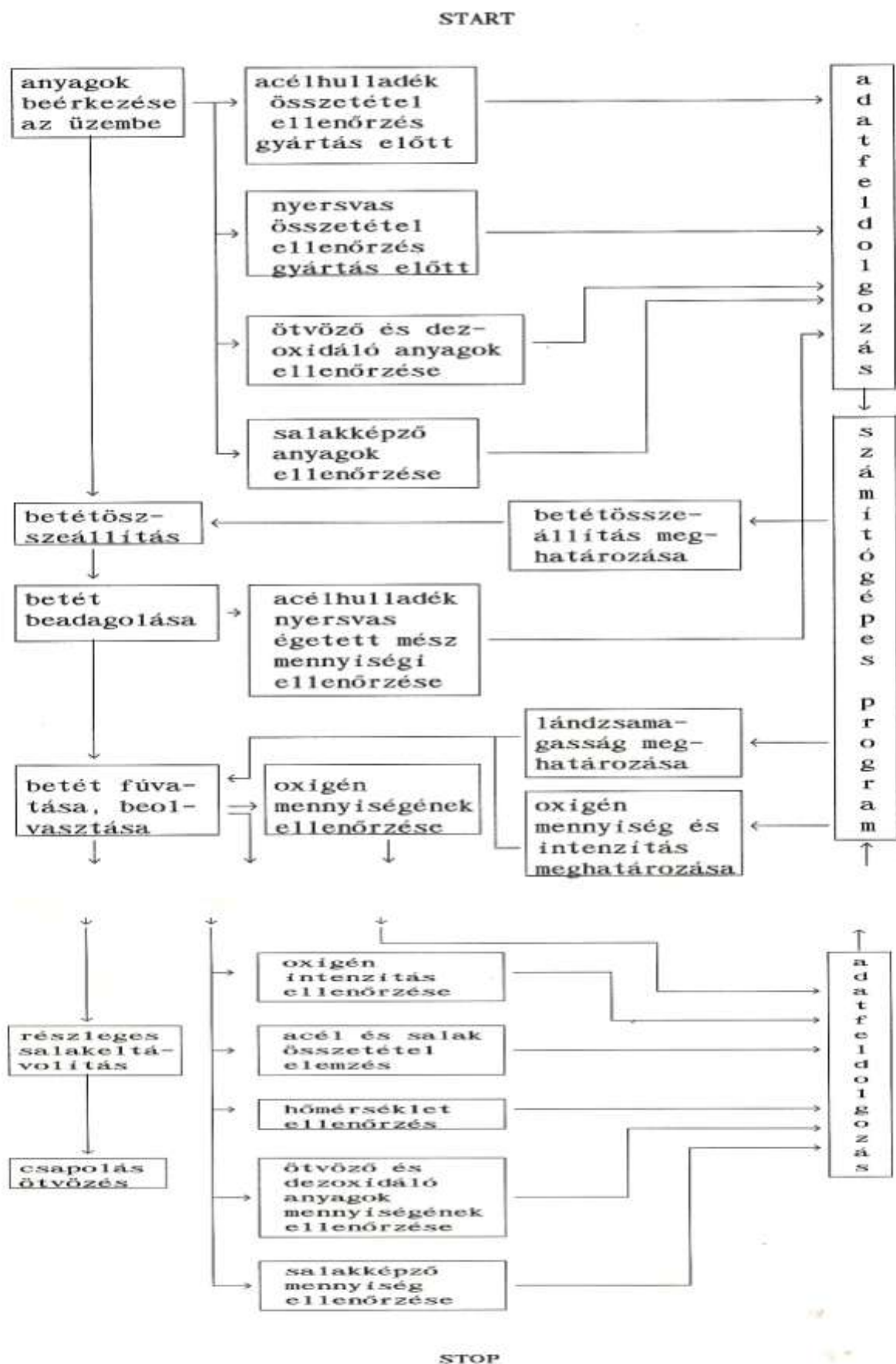
4.4.1. Primer acélgyártás minőségbiztosítása

A primer acélgyártás technológiai és minőségbiztosítási folyamatainak számítógépes irányítását és az ellenőrzési rendszer elvét, konverteres acélgyártás esetén a 63. ábra, UHP gyártás esetén a 64. ábra mutatja.

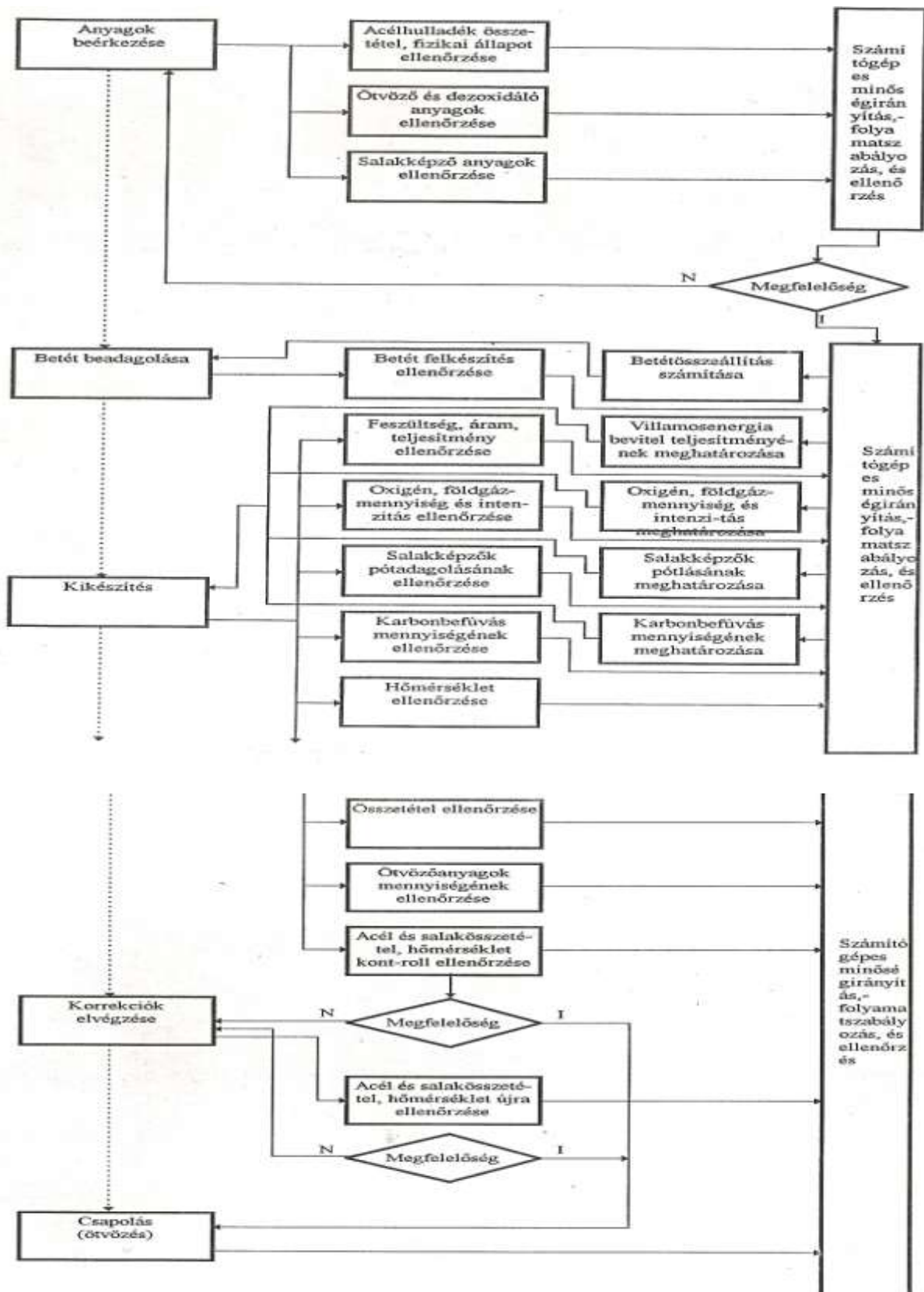
Számítógéppel támogatott LD- konverteres vagy az UHP eljárásnál, az acélgyártó monitor képernyőn kapja meg a technológiai előírásokat, a gyártandó adagra vonatkozóan [22]. A számítógép a beolvadt acélfürdőből kivett minta alapján számítja ki a beadagolandó ötvözők minőségét, mennyiségét és azt is megjeleníti a képernyőn, hogy az acélgyártónak mikor kell indítani a lemérlegelt anyagok adagolását.

A számítógép szoftvere a rendelkezésre álló ötvözőanyagok árát, kihozatalát, valamint az acélolvadékban lévő elemekre kifejtett hatását is figyelembe veszi. Képes olyan kötelező algoritmusok figyelembe vételére is, amelyek bizonyos elemek egymásra hatását szabályozzák, a rendelés feltétlfüzetében megjelölt minőségi tulajdonságok, (pl. növelt folyáshatár, szűkített edzhetőségi-sáv) elérése érdekében.

Az oxigén fúvatás hatására lejátszódó oxidációs folyamatok végén acél- és salakpróbát vesznek. Az elemzési, valamint hőmérséklet mérési eredmények számítógépes feldolgozását követően, az acélgyártó főolvasztár intézkedik az esetlegesen szükséges technológiai korrekciók elvégzéséről, vagy ha minden eredmény megfelelő a csapolás és a csapolás közbeni ötvöző, dezoxidáló (salakképző) anyagok üst(kemencé)be történő adagolásáról, majd a csapolás befejezése után az adagot üstmetallurgiai kezelésre irányítja



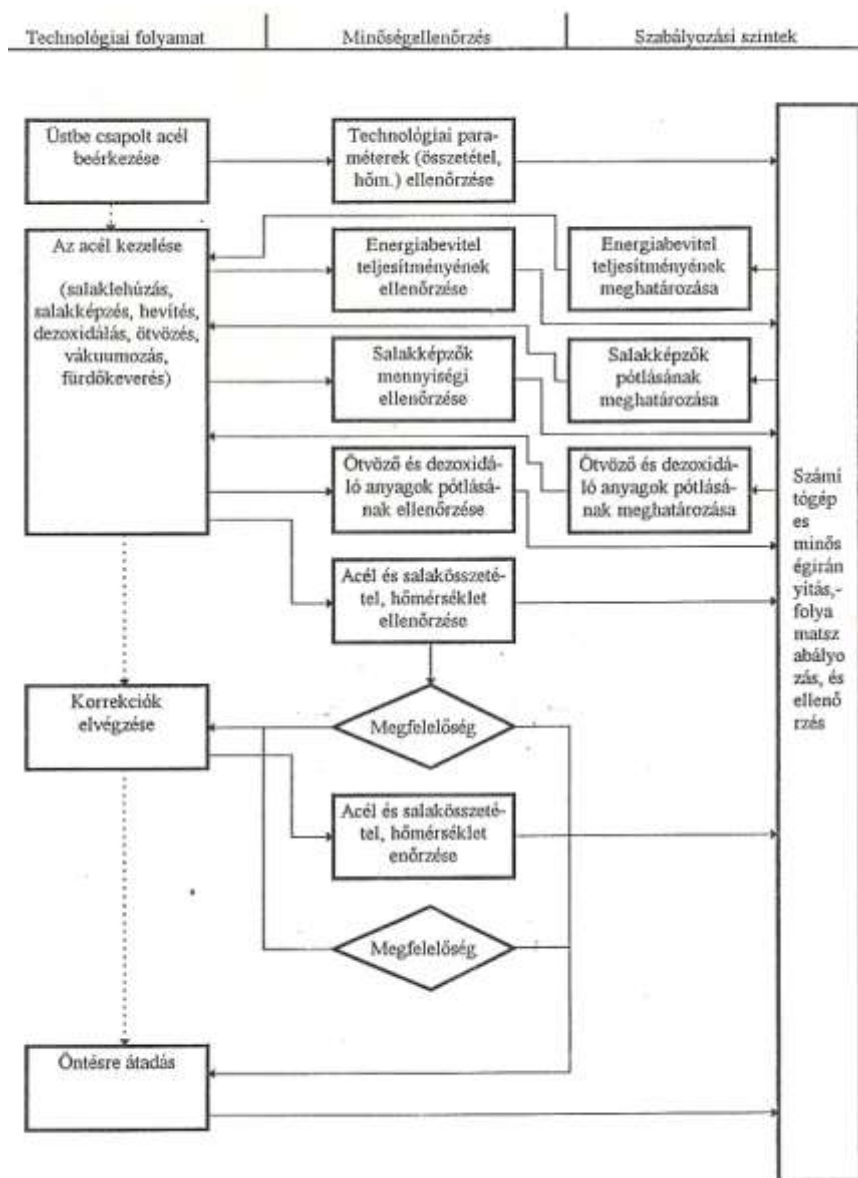
68. ábra LD-konveretes acélgyártás technológiai- és minőségbiztosítási folyamatainak számítógépes irányítási és ellenőrzési rendszere



69. ábra UHP elektroacélgyártás technológiai- és minőségbiztosítási folyamatainak számítógépes szabályozási és ellenőrzési rendszere

4.4.2. Üstmetallurgia minőségbiztosítása

Az üstmetallurgiai kezelés technológiai és minőségbiztosítási folyamatait mutatja a 70. ábra. A csapolás közben – salakviisszatartás mellett – üstkemencébe csapolt acél minőségét üstmetallurgiai kezelés alatt számos technológiai művelettel (lépcsős dezoxidálás, inertgáz- és/vagy indukciós keverés, homogenizálás, hevítés, kéntelenítés, vákuumozás, összetétel beállítás, mikroötvöztetés, ötvöztetés, hőmérséklet-, aktív- és összes- oxigén-, hidrogén- mérés, kémiai- és salakösszetétel meghatározás stb.) javítjuk.

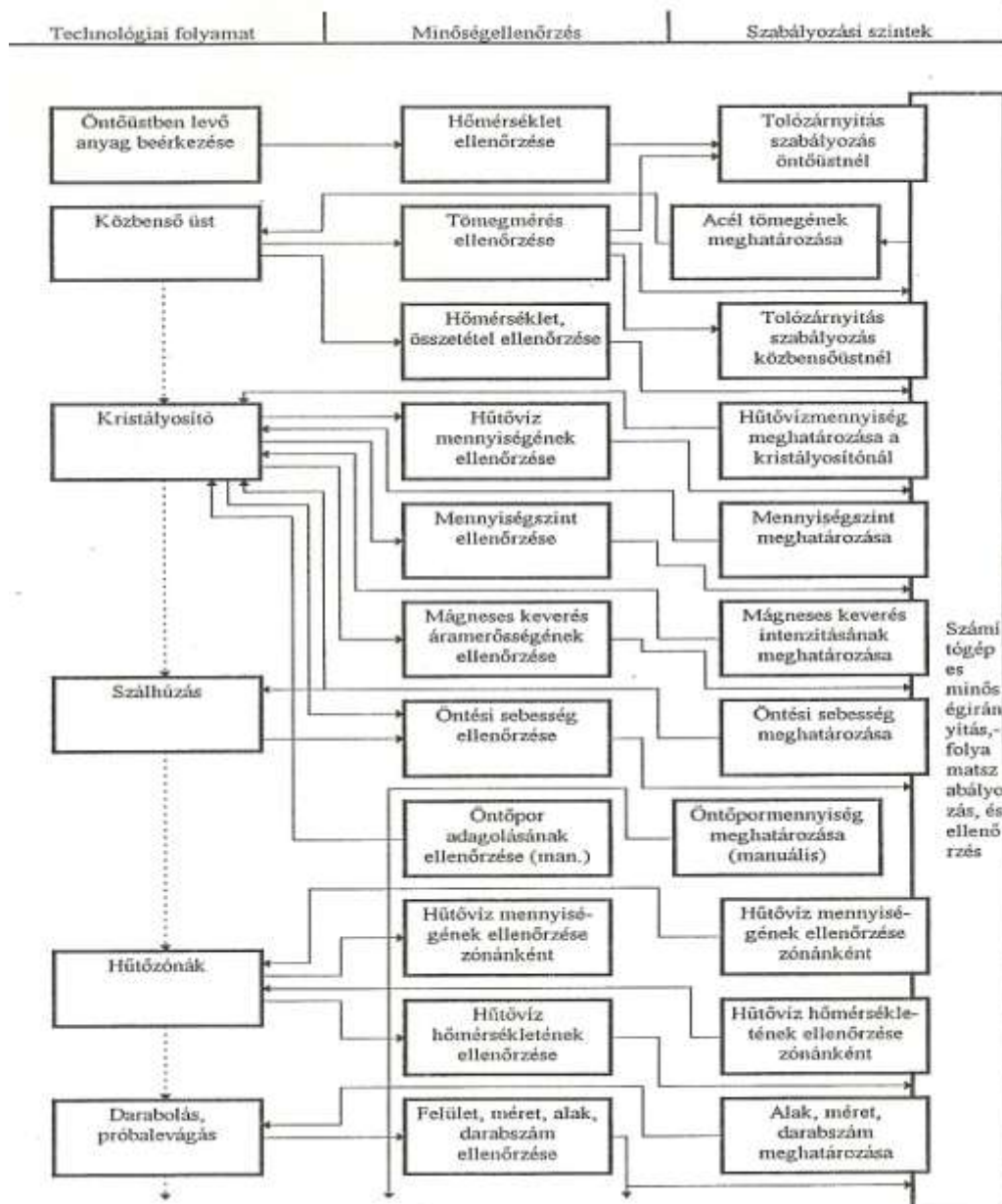


70. ábra Üstmetallurgia technológiai- és minőségbiztosítási folyamatainak számítógépes irányítási- és ellenőrzési rendszere

A folyékony acélt az eredményes üstmetallurgiai kezelést követően öntésre irányítják. Az acél öntése tuskó- vagy folyamatos öntéssel történhet.

4.4.3. Folyamatos öntés minőségbiztosítása

A folyamatos öntés technológiai és minőségbiztosítási bloksémáját, a VOEST ALPINE által kifejlesztett, számítógéppel segített CAQC (Computer Aided Quality Control) rendszerét [46] szemlélteti a 71. ábra.



71. ábra Számítógépes folyamatirányítással és minőségellenőrzéssel segített folyamatos öntés elve

A leöntendő anyag öntési előírásait, a számítógépbe előre betáplált program szerint folytatják le. Öntés közben kivett minták és az elvégzett mérések alapján figyelik, illetve követik a technológiai folyamatokat és a minőség változásait.

A követésre kerülő minőségi paraméterek illetve jelenségek részben adagra jellemzőek, részben szálanként változóak.

Adagra jellemző paraméterek:

- folyamatosan mért adatok: üstben lévő acélmennyiség, semleges gázzal végzett öblítés mennyisége és ideje, stb.,
- időszakosan mért adatok: hőmérséklet, kémiai összetétel, továbbá az esetleges öntési rendellenességek rögzítése.

Öntött szálakra jellemző paraméterek:

- Közbensőüstben lévő acél tömege, hőmérséklete, acélsugár védelem, fedőpor, öntőpor adagolás,
- Kristályosító állapota, hűtése, reoxidáció védelem, indukciós keverés paraméterei, meniszkusz-szint, húzási sebesség, hűtőzónák vízhőmérséklete és mennyisége, stb.

A számítógép által feldolgozott eredmények az operátor képernyőjén megjelennek, ugyanakkor írásban is rögzítésre kerülnek. Az eredményeket a számítógép dolgozza fel, és ezt követően a folyamatosan öntött buga minősítését is elvégzi.

*

A vevői minőségi igények növekedése egyre inkább szükségessé tette a minőségi munka nemzetközi fejlődésével való lépéstartást. E követelmény vezetett a Teljes körű Minőségirányítás (TQM) megvalósításához.

A TQM egy olyan különböző *minőségi elemekkel ötvözött vezetési gyakorlat*, amely a vertikális gyártási folyamatban – a termék születésétől kezdve, a felhasználó által beépített másod-, harmad-termékekben is – maradéktalanul kielégíti az összes minőségi előírásokat. Ennek megvalósítása a szervezet minden szintjének és bedolgozójának a közreműködését igényli.

TQM alkalmazásánál, a felső vezetés a rendelói igények közé építi be saját stratégiáját és az alkalmazottak tevékeny részvétele mellett alakítja ki termelési kultúráját. Minden folyamatban és tevékenységben – a minőség fontossága mellett - kiemelten kezelik a költségcsökkentés lehetőségét, annak érdekében, hogy a veszteség forrásainak kiszűrésével biztosítsák a folyamatos fejlődést és a hosszú távú üzleti sikert.

5. KÖRNYEZETVÉDELEM AZ ACÉLIPARBAN

5.1. Bevezetés

Az acélipar természeténél fogva a környezetet erősen terhelő ágazatok közé tartozik. Ennek oka jól szemléltethető az EU acéliparának anyagforgalmával. Eszerint 206 Mt nyersacél előállításához 357 Mt (azaz másfélszer több) anyagot és energiahordozót használtak fel 2006-ban. A különbség (151 Mt) szilárd, légnemű, vagy folyékony állapotban hagyta el a termelési folyamatot. A környezetvédelem célja, hogy ebből minél kevesebb kerüljön hasznosítás nélkül a környezetbe.[47-48].

Adalékanyagok 17,7 Mt	Összbevitel 357 Mt	Gázok, Salakok 151 Mt
Tüzelőanyagok (gáz, olaj) 5,3 Mt		
Mész, mészkő, dolomit 33,2 Mt		
Szén 53,5 Mt		Nyersacél 206 Mt
Acélhulladék 121 Mt		
Vasérc 126 Mt		

72. ábra Az EU acéliparának anyagforgalma [49]

Az EU – úgyis, mint a világ egyik legfejlettebb régiója – felelőssége tudatában folyamatosan szigorítja környezetvédelmi követelmény rendszerét. Az acélipari vállalatok ennek megfelelően igen jelentős erőfeszítéseket tesznek környezetvédelmük fejlesztése érdekében.

A következőkben áttekintést adunk az acélipari technológiák jellemző környezetterheléséről és a csökkentési lehetőségekről, mivel az integrált acélgyártás környezetterhelése erősen függ a koksolás, zsugorítmánygyártás, nyersvasgyártás környezetterhelésétől, így gondolkodásmódunkat most nem korlátozhatjuk csupán a közvetlen acélgyártásra, hanem a teljes vertikum környezetterhelését együtt kell áttekintenünk.

5.2. Az acélipari technológiák környezetterhelése

5.2.1. Légszennyezés

Az acélipari technológiák többsége nagy hőmérsékleten elvégzett műveletek sorából áll; a feldolgozáshoz használt anyagok között szemcsés (esetenként finom szemcsés) és szennyezett anyagok is vannak, továbbá nagymennyiségű levegő áramlására is sor kerül. A légszennyezés így a termelő tevékenység szükségszerű következményének tekinthető, amelynek csökkentése az acélipar az elmúlt évtizedekben jelentős erőfeszítéseket tett.

A kibocsátott (emittált) szennyezők közül a legjelentősebbek a következők:

- *Por*, amely gyakorlatilag minden kohászati művelet során keletkezhet

- *Szervetlen gázok*
 - * *nitrogén oxidok* (NO_x), amelyek a levegőben lévő nitrogénből keletkeznek nagy hőmérsékletű égési folyamatok során
 - * *kén oxidok* (SO_x), amelyek elsősorban az olaj égése és a szén kokszolása során keletkeznek
 - * *széndioxid, szénmonoxid*, amelyek a nyersvasgyártás, a konverterezés és a szén-hidrogének égése során keletkeznek
- *szerves vegyületek*, elsősorban dioxin és furán; ezek főleg az acélhulladékban lévő nem-fémes szennyezőkből (pl. műanyagok) keletkeznek
- *nehéz fémek* (Hg, Zn, stb.), amelyek legnagyobb részt szintén az acélhulladékból származnak.

Tekintettel arra, hogy a felsorolt légszennyezők egy része veszélyes az egészségre vagy üveg-ház hatású, nemzetközi és nemzeti szinten egyaránt korlátozzák kibocsátásukat. A kibocsátás határértékeit a legtöbb esetben a levegőben mért koncentrációban súlyszázalékban adják meg. Ennek mérése azonban számos kérdést vet fel; a legfontosabbak a következők:

- hol történjen a mérés (a kibocsátás helyén, közelében, vagy a veszélyeztetett lakott területen)
- mikor történjen a mérés (a kibocsátás időben rendkívül változó lehet a technológia függvényében: pl. konverteres acélműben lényegében csak a fúvatás során keletkezik jelentős légszennyezés)
- milyen módszerrel történjen a mérés (folyamatosan, vagy periodikusan vett mintákból)
- milyen formában adják meg az adatokat (maximális értékek, vagy különböző időszakok átlagértékei, stb.)

A környezetvédelmi előírások, szabványok ennek megfelelően rögzítik a mérés körülményeit.

Az acélművek környezetterhelési teljesítményét és annak alakulását a fajlagos (termelésre vetített) kibocsátási adatokkal is szokás jellemezni. Ezt legtöbbször fentieknél egyszerűbb módon, lényegében anyagmérlegekre támaszkodva határozzák meg: a bevitt anyagok mennyisége, a lejátszódott reakciók, ill. a felfogott szennyezők mennyisége alapján végzik el a számítást. Ennek alapján elég jól meghatározható bizonyos kibocsátások (pl. CO_2 , por) összes és fajlagos mennyisége, a szennyező anyagok koncentrációja a levegőben azonban ebből legfeljebb csak áttételesen becsülhető.

A 68. ábrán a német acélipar fajlagos porkibocsátásának alakulása látható. Ezek szerint a fejlődés igen látványos volt: 1965 és 2005 között egy nagyságrenddel kisebb lett a kibocsátás és a további csökkentés lehetőségei meglehetősen korlátozottak.



73. ábra A fajlagos porkibocsátás alakulása a német acéliparban [50]

A következőkben technológiai lépésként foglaljuk össze a légszennyezés jellemző adatait. Az adatokat a BAT dokumentumok készítése során [47] az EU területén működő acélipari vállalatok szolgáltatták; az adatszolgáltató üzemek száma jelentős, technikai színvonala meg lehetőségen változatos volt [49]. Ezzel magyarázható, hogy a közölt adatokban nagy a szórás.

5.2.1.1. Zsugorítóművek

Az acélipari technológiák közül a zsugorítmány-gyártás során kerül a legtöbb szennyező a levegőbe; ezek legnagyobb részét azonban sikerül eltávolítani.

A tagországokban működő zsugorítóművek jellemző fajlagos kibocsátási adatait (a légtisztító berendezések után kikerült mennyiségek) a 27. táblázat tartalmazza

27. táblázat Fajlagos légszennyezés az EU-ban működő zsugorító művekben

<i>Kibocsátott szennyező</i>	<i>Maximális érték (g/t zsugorítmány)</i>	<i>Minimális érték (g/t zsugorítmány)</i>
Por (összes)	560	41
NO _x	1031	302
SO ₂	973	220
CO	37000	8783
CO ₂	368 000	161530
Pb	5,6	0,02
Zn	1,9	0,002
Hg	0,2	-
<i>A légtisztítók által felfogott szennyezők</i>		
Porok (száraz)	3640	171
Porok (nedves)	4500	470

Látható, hogy a különbségek az EU-n belül is igen jelentősek.

A légszennyezés csökkentésére különböző berendezéseket, eljárásokat alkalmaznak. Ezek két nagy csoportba sorolhatók:

- csővégi eljárások, ahol a szennyezett gázt megfelelő berendezésekbe vezetve csökkentik a szennyezők mennyiségét
- a kialakuló légszennyezés mértékének csökkentése a gyártás során.

A *szilárd részecskék formájában jelenlévő szennyezést (port)* megfelelően kiképzett és elhelyezett porleválasztókban fogják fel. Erre elsősorban zsákos szűrőket, vagy elektrosztatikus porleválasztókat alkalmaznak, néha ciklonnal kombinálva. A hatékonyságot esetenként nedves leválasztás beiktatásával növelik. Ezekkel a módszerekkel a portartalom több, mint 95 %-a eltávolítható a gázból.

A távozó gáz SO_2 -tartalma legegyszerűbben a rendszerbe bevitt S mennyiségének korlátozásával csökkenthető (kis S-tartalmú kokszt és a vasérc használata).

A gázba került SO_2 legnagyobb része nedves eljárással távolítható el. A gázt az erre szolgáló mosótoronyba vezetik, amelybe Ca- vagy Mg-tartalmú oldatot permeteznek. A gáz SO_2 tartalma Ca- vagy Mg szulfiddá alakul, ami a mosóoldatból iszap formájában eltávolítható. Az eljárással a SO_2 több, mint 90 %-kal csökkenthető.

Az NO_x -tartalom legegyszerűbben a felhasznált koksztör N-tartalmának csökkentésével (antracit alkalmazása) és kis NO_x -kibocsátású tüzeléstechnika alkalmazásával csökkenthető.

A gáz SO_2 és NO_x tartalma (és egyéb szennyezői) regenerálható aktív szént tartalmazó toronyokon való átvezetéssel is hatékonyan csökkenthető. Az SO_2 csökkentés hatásfoka >95%, az NO_x -é 80-90 %.

Az NO_x tartalom szelektív katalitikus redukcióval ammónia hozzáadásával nitrogénné és vízgőzzé bontható. Katalizátorként V_2O_5 , WO_3 vagy TiO_2 használatos. Az eljárás hatásfoka ~ 80 %.

A zsugorítószalagokról elszívott gáz tisztítása mellett a szekundér légszennyezés csökkentésére is törekednek; különösen fontos az adagoló és tároló helyek környezetének légtisztítása elszívó berendezések alkalmazásával; az elszívott gázt fenti módszerek valamelyikével tisztítják.

Fontos megjegyezni, hogy a zsugorítmánygyártás a legalkalmasabb az acélművek más technológiáinál keletkezett hulladékok hasznosítására; erről a későbbiekben lesz szó.

5.2.1.2. Koksztolás

A koksztolás lényege a koksztolható szén pirolízise oxigénmentes atmoszférában, amelynek eredményeképpen szilárd halmazállapotú kokszt, továbbá gáz és folyékony halmazállapotú melléktermékek keletkeznek.

Légszennyezés a következő műveletek során keletkezhet:

- a szén előkészítése a koksztoláshoz

- koksizálás
- a gyártott koksiz kezelés (űritése, hűtése, osztályozása, tárolása)

1 tonna koksiz előállításához 1220-1350 kg koksizolható szenet használnak. Az EU-ban működő koksizolók fajlagos kibocsátásait a 28. táblázat tartalmazza.

28. táblázat Az EU-ban működő koksizolók fajlagos légszennyezése

Emittált anyag	Fajlagos mennyiség (g/t koksiz)
<i>Por</i>	16-300
<i>SO_x</i>	80-900
<i>NO_x</i>	300-1800
<i>NH₃</i>	0,5-25
<i>H₂S</i>	12-100
<i>CO</i>	200-4460
<i>CO₂</i>	160-860
<i>CH₄</i>	1-80

A *szén előkészítése* (rakodás, aprítás, osztályozás) során keletkező légszennyezés mértékéről nincs információ.

A *koksizológamrák töltése* során óhatatlanul légszennyezés keletkezik, elsősorban a nyílások mentén. Ennek csökkentésére több módszert alkalmaznak. Leghatékonyabb a „füstmentes” töltés, ahol a koksizoló kamra és a töltőkocsi között résmentes (szívárgásmentes) kapcsolatot létesítenek. Másik megoldás, hogy a töltés helyén megfelelő helyi elszívást alkalmaznak és az elszívott levegőt tisztítják.

A *koksizolás során* szennyezők kerülhetnek a levegőbe a koksizoló kamrák esetleges nyílásain keresztül. Ennek megakadályozása érdekében a töltés és a kitolás után gondoskodni kell a nyílások légmentes tömítéséről. A kamrák tetején lévő elszívó rendszerbe gyakran megfelelően kialakított vízzárat iktatnak be. A tömítetlenséget (kifűvés) rendszeres vizuális vizsgálattal is ellenőrzik. Legfontosabb a koksizológomű rendszeres karbantartása, a keletkezett nyílások, repedések megszüntetése.

5.2.1.3. Nyersvasgyártás

A nagyolvasztó zárt rendszer, amelybe felülről vashordozókat (érc, zsugorítmány, pellet), salakképzőket és redukálószer (alapvetően koksizot) adagolnak, alsó részén pedig nagyhőmérsékletű levegőt (esetenként oxigént és redukálószerket, pl. szénport is) fúvatnak be. A befűvott gáz a koksizsal reagálva elsősorban CO-t képez, amely vassá redukálja a vasoxidokat. A nagyolvasztó adagolórendszerét úgy alakítják ki, hogy azon keresztül a légkörbe ne távozhasson az ún. torokgáz.

A nagyolvasztóba juttatott anyagok, levegő és energiahordozók fajlagos mennyisége kb. 3,75 t/t nyersvas, amiből 1,6-1,8 t levegő, 1,4 t zsugorítmány, vagy más vashordozó, 0,5-0,65 t

kokszt, 0,25 t salakképző (mész, vagy dolomit) Ebből 1200-2000 Nm³/t torokgáz mellett 150-350 kg/t salak keletkezik. A nyers torokgáz erősen szennyezett (5,5-40 kg por/t nyersvasat és egyéb szennyezőket tartalmaz). A torokgázt két lépcsőben tisztítják, mielőtt a léghevítőkbe juttatják.

Az EU-ban a második lépcső leggyakrabban nedves gáztisztító, amely szennyezett vizet eredményez. A leválasztott por a vas mellett nehézfémeket, különösen Zn-t tartalmaz; hasznosításáról később esik szó.

A tisztított torokgáz fajlagos adatai a következők (29. táblázat):

29. táblázat A tisztított torokgáz adatai

<i>Komponens</i>	<i>Fajlagos mennyiség</i>
Torokgáz	1200-2000 Nm ³ /t
Por	1-20 g/t
H ₂ S	17-26 g/t
CO	300-700 kg/t
CO ₂	400-900 kg/t
Hidrogén	1-7,5 kg/t
Nhézfémek (Mn+Pb+Zn)	0,3-0,6 g/t

A léghevítőket a torokgáz mellett kamragázzal, konvertergázzal és földgázzal fűthetik.

A léghevítőkből származó szennyezőkoncentrációkat a 30. táblázat tartalmazza.

30. táblázat A léghevítőkből származó szennyezőkoncentrációk

<i>Komponens</i>	<i>Szennyezőtartalom (mg/Nm³), éves átlag</i>
Por	0,1-12
CO	4,1-2900
NO _x	19-115
SO _x	4- 154
Nhézfémek	0,24
Hg	0,003

A nagyolvasztó csapolása során elsősorban por kerül a levegőbe; mennyisége 400-1500 g/t. Felfogására a szennyezés helyén alkalmazott elszívást alkalmaznak; tisztítás után 30-35 g/t-ra csökken a fajlagos mennyiség, a porkoncentráció pedig 10 mg/Nm³ alá megy.

5.2.1.4. Oxigénos konverteres acélgártás

A konverteres acélgártás esetében a következő műveletek során keletkezhet légszennyezés:

- nyersvas kezelés, kéntelenítés
- a konverter töltése
- fúvatás
- csapolás
- üstmetallurgiai kezelés.

Az EU-ban működő acélművekre megadott összes kibocsátásra vonatkozó adatok[47] a 31. táblázatban láthatók.

31. táblázat Az acélművekből származó szennyező-koncentrációk

<i>Kibocsátott anyag</i>	<i>Fajlagos mennyiség, g/t</i>
Por	14-113
NO _x	8-55
CO	390-7200
CO ₂	22,6-174
SO _x	3,8-15,4

A *nyersvas kezelése* során porszennyezés keletkezik. Mennyisége elérheti az 1 kg/t-t is. Megfelelő helyi elszívással és porleválasztással (zsákos szűrő, elektrosztatikus porleválasztó) ez 1 g/t-ra csökkenthető.

A *konverter töltése és a csapolás* során keletkező por felfogására gyakran külön elszívó egységet használnak, amelyet a megdöntött konverter megfelelő helyén alkalmaznak.

A fúvatás során keletkező konvertergáz jellemző összetételét a 32. táblázat tartalmazza.

32. táblázat A konvertergáz jellemző összetétele

<i>K - Komponens</i>	<i>Á - Átlagérték (térfogat %)</i>
C... CO	7 72,5
C... CO ₂	1 16,2
H... H ₂	3, 3.3
N ... N ₂ + Ar	8

A konvertergáz nagy CO-tartalmánál fogva éghető és energiahordozóként használható. Ha erre nem kerül sor, az elszívott konvertergázba levegőt engednek és a CO-t elégetik.

Korszerűbb az a megoldás, ahol a konvertergázba nem juthat levegő és tisztítás után tüzelőanyagnak használják.

A konvertgáz tisztítás előtt nagymennyiségű port tartalmaz, ami tisztítás után töredékére csökken (lásd 33. táblázat)

33. táblázat A konvertergáz portartalma

<i>Eredet</i>	<i>Mérés helye</i>	<i>Fajlagos kibocsátás</i>
Adagolás, csapolás	Tisztítás előtt	0,2-1 kg/t
	Tisztítás után	0,002-0,06 kg/t
Fúvatás	Tisztítás előtt	15-20 kg/t
	Tisztítás után	0,003-0,055 kg/t
Nehézfém	Zn	8 g/t
	Fe	2,8-83 g/t
	Mn	2,7-60 g/t
	Pb	1,5-2,9 g/t

A porleválasztásra különböző technikákat használnak, esetenként két lépcsőben (először a nagyobb szemcseméretű frakciókat fogják fel pl. ciklonnal, nedves eljárással, majd a fínomakat száraz, vagy nedves elektrosztatikus porleválasztóval, vagy egyéb módon).

5.2.1.5. Elektroacélgyártás

Az elektroacélműben légszennyezés a betét (acélhulladék) előkészítés, adagolás, acélgyártás és csapolás során keletkezik. A keletkezett por felfogására több megoldást alkalmaznak:

- a kemence felett elhelyezett elszívó mellett a kemence fedélen kialakított nyíláson keresztül a kemencetérből is elszívják a gázt
- a gyártó egységet ún. kutyaházzal veszik körül, amiből elszívják a szennyezett levegőt
- a teljes gyártócsarnok levegőjét elszívják és tisztítják.

Az elektroacélgyártás során 10-30 kg/t port fognak fel. Legfontosabb összetevőit a 34. táblázat tartalmazza.

34. táblázat Elektroacélgyártás során keletkező porok összetétele

<i>Komponens, %</i>	<i>Ötvöztelen acél gyártásnál</i>	<i>Ötvözött acél gyártásnál</i>
Fe	10-40	17-37
CaO	3-17	2-16
MgO	0,5-6	1,2-3
Zn	21-43	2-15
Pb	0,4-10	0,05-3,6
Cl	0,8-5	0,7-0,7
S	0,1-3	0,25-1,4
C	0,4-3,3	0,5-3,1

Manapság az elektrokemencéket alapvetően olvasztó egységként használják; az ötvözésre, az összetétel beállítására és a finomításra üstmetallurgiai berendezésekben kerül sor. A fajlagos légszennyezési adatokra vonatkozóan kevés információ áll rendelkezésre; az azonban nyilvánvaló, hogy lényegesen kisebbek a primer olvasztáshoz képest. Az elszívást – ahol mód van rá – az elektrokemencénél alkalmazott rendszerrel valósítják meg.

5.2.2. Vízfelhasználás, vízszennyezés

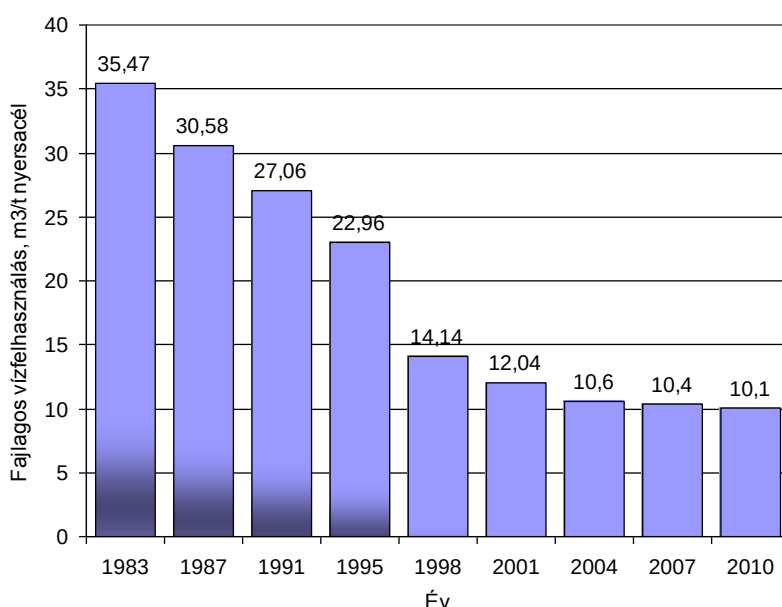
Az acélművek fajlagos vízfelhasználása széles határok között változik a felhasználás céljának és módjának függvényében. A vízfelhasználás legfontosabb területei a következők:

- közvetlen, vagy közvetett hűtés
- gáztisztítás
- revétlenítés nagynyomású vízszugárral
- mosás (szennyezők eltávolítása a felületről, beleértve a légtisztítók egyes elemeit is).

Az acélművek vízrendszereinek három változata van: teljesen zárt, félig zárt, vagy nyitott rendszerek. Legkisebb fajlagos vízfelhasználás a zárt rendszerekkel érhető el; a nyitott rendszereknél a vizet egyszeri használat után kiengedik a rendszerből. A félig zárt rendszereknél különböző okok miatt (pl. a hőmérséklet, vagy a szennyező-koncentráció csökkentése céljából) a víz egy részét folyamatosan cserélik.

A legtöbb vizet a közvetlen vízűtés igényli; itt a hűtővizet használat után kibocsátják. A fajlagos vízfelhasználás integrált acélművekben ekkor meghaladhatja a $150 \text{ m}^3/\text{t}$ -t, emiatt csak ott alkalmazzák, ahol olcsón elérhető a szükséges vízmennyiség.

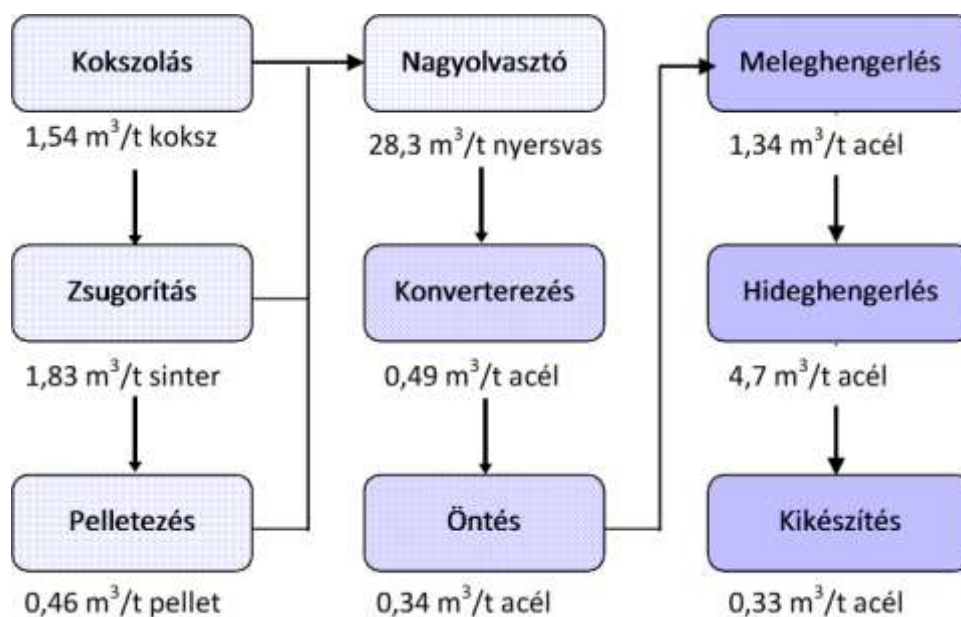
Közvetett vízűtésnél a hűtővizet megfelelő módszerrel lehűtik (szükség esetén tisztítják), majd lehűtés után visszajáratják a rendszerbe. A további vízigényt a veszteségek pótlása jelenti, ami töredéke a közvetlen vízűtés igényének. A fajlagos vízfelhasználás ilyen módon $10 \text{ m}^3/\text{t}$ nyersacélra csökkenthető (69. ábra).



74. ábra Az acélipar fajlagos vízfelhasználásának csökkenése Németországban [51]

A különböző gáztisztító berendezésekben felhasznált víz szennyezőtartalmát kibocsátás előtt megfelelő módszerekkel a megengedett határérték alá csökkentik. Ugyanez a helyzet a revétlenítésre és mosásra használt vizek esetében.

A különböző technológiák fajlagos vízigénye meglehetősen változatos. A 70. **ábra** a különböző acélipari technológiákra mutatja be a jellemző értékeket. A legnagyobb felhasználó a nagyolvasztó, de a koksizálás, valamint a meleg és hideghengerlés is nagy vízigényű.



75. ábra Az acéipari technológiák fajlagos vízigénye a TATA Steel-nél [52]

A kibocsátott víz szennyezőtartalmának csökkentésére a szennyezők jellegétől (oldott szennyezők, vagy oldatlan állapotban lévő részecskék) függően különböző eljárásokat alkalmaznak, amelyekkel biztosítható a környezetvédelmi előírások teljesítése.

A kémiai (oldott) szennyezők egy része ártalmas az élővilágra, mennyiségüket (koncentrációjukat) a kibocsátott vízben ennek megfelelően a környezetvédelmi előírások korlátozzák, amit az előírt módon folyamatosan (rendszeresen) ellenőrizni kell.

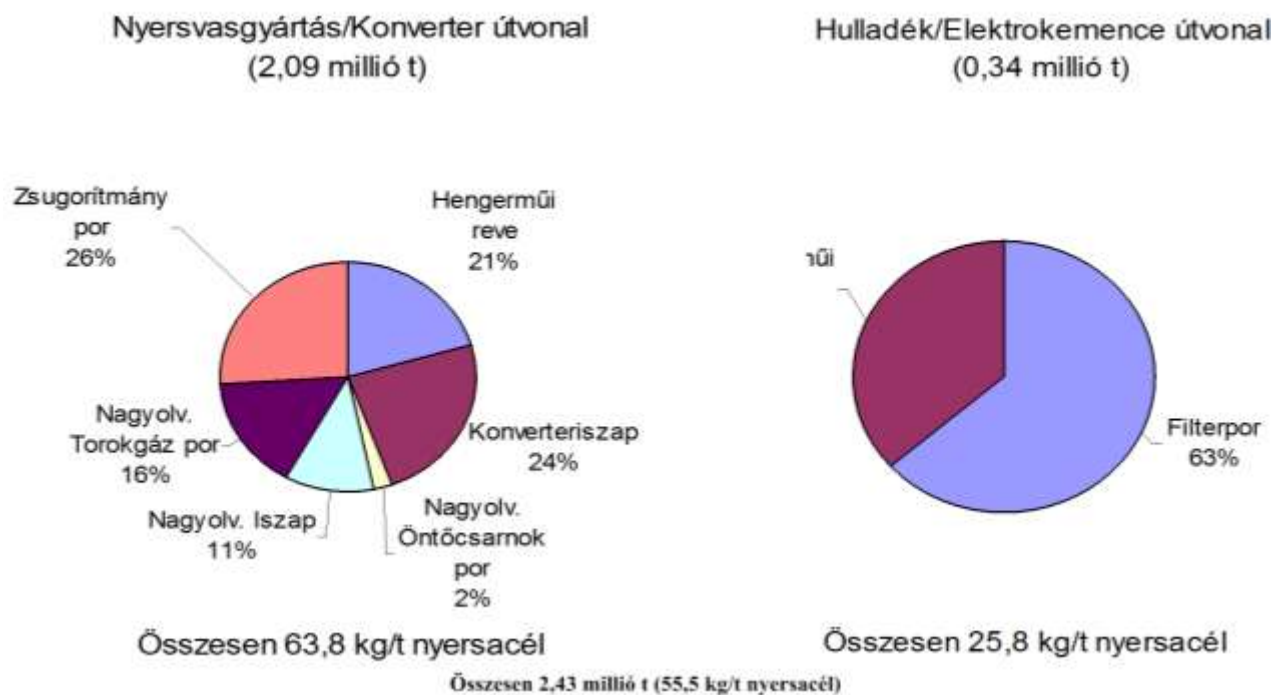
5.2.3 Hulladékok, melléktermékek

Az acéiparban alkalmazott technológiák alkalmazása során az acéltermékek mellett különböző jellegű és mennyiségű olyan anyag is keletkezik, amely nem célja a termelésnek. Ezek három nagy csoportba sorolhatók:

- a lég- és víztisztítás során leválasztott anyagok (porok, iszapok)
- a betétanyagok nem hasznosítható, vagy káros összetevőinek eltávolításából származó anyagok (pl. salakok)
- a működés során nem hasznosuló anyagok (kifröccsenések, tapadványok, elhasznált tűzálló anyagok).

Fajlagos mennyiségük az alkalmazott eljárástól függően meglehetősen nagy lehet és letárolásuk jelentős többletköltségekkel járna. Összetételüknél és fizikai-kémiai tulajdonságaiknál fogva legtöbbjük hasznosítható, ami nemcsak a tárolási költségeket csökkenti, hanem a hasznosítás önmagában is gazdasági eredményt hozhat. A letárolásra átadott acéipari hulladékok mennyisége ezért folyamatosan csökken és ma már a „zero waste” (hulladékmentes) technológiák megvalósítása is elérhető közelségbe került.

A 71. ábra a német acéiparban keletkezett porok, iszapok, revék mennyiségét szemlélteti a különböző technológiáknál. Az integrált acélgyártásnál – ahol a 60% körüli Fe-t tartalmazó vasércből indul a folyamat – a salakon felül több, mint kétszer annyi hulladék keletkezik, mint az elektroacélgyártásnál (68,3, ill. 25,8 kg/t nyersacél).



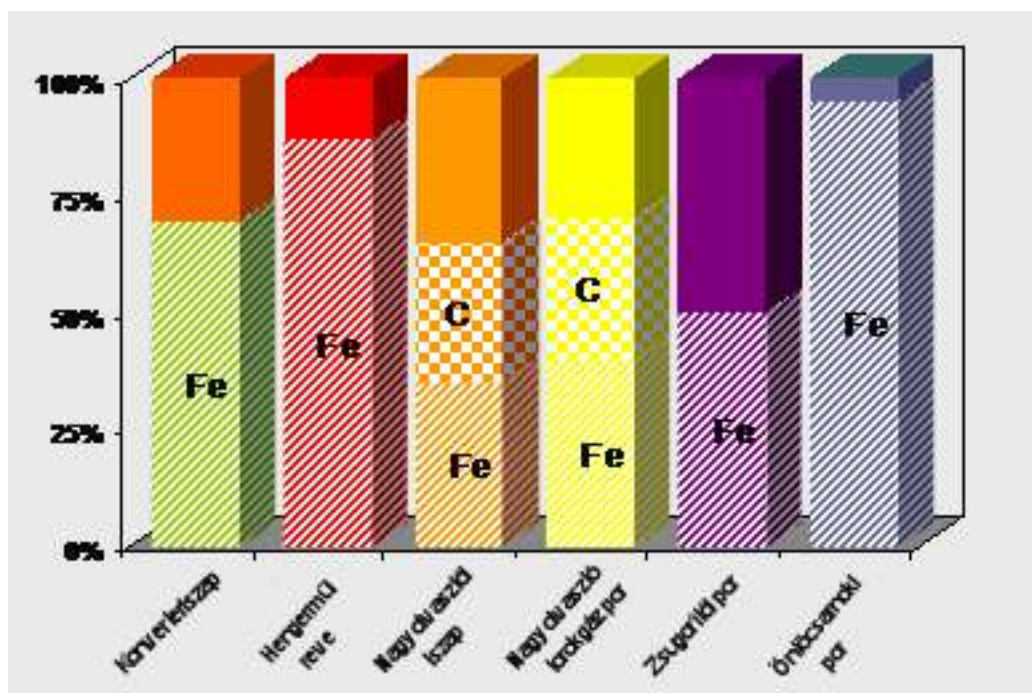
76. ábra A német vaskohászatban keletkezett porok, iszapok és revék mennyisége 2010-ben [53]

A primer fázisokban keletkező hulladékok kémiai összetételét a 35. táblázat tartalmazza.

35. táblázat A primer acélgyártás során keletkező hulladékok összetétele %-ban

<i>Anyag</i>	Fe	SiO₂	Al₂O₃	CaO	MgO	C	Zn	Na₂O+K₂O	Pb
Nagyolvasztó torokgáz por	24-44	5,6	1,5-2,3	3,5-5,3	1,3	13-44	0,16	1,15	0,074
Nagyolvasztó iszap	27	5	2,1	3,8	0,9	42	0,557	0,96	0,4
Reve	70	1	0,3	0,8	0,1				
Hengerművi reve	70	2,6	0,5	3,4	0,3				
Nagyolvasztó öntőcsarnok por	56	4,1	1	4,5	1,1	6,5	0,038	0,1	0,011
Konverteriszap durva frakció	72	1,2	0,2	6,7	0,3		0,023	0,054	
Konverteriszap finom frakció	63	1,1	0,1	4,8	0,6		0,148	0,38	0,064
Elektrokemence por és iszap	35					1,8	14,6		3,1

Ezeknek az anyagoknak elsősorban a Fe-tartalma, továbbá a C- és Zn tartalma hasznosítható. A 72. ábrán a különböző anyagok hasznosítható részaránya látható

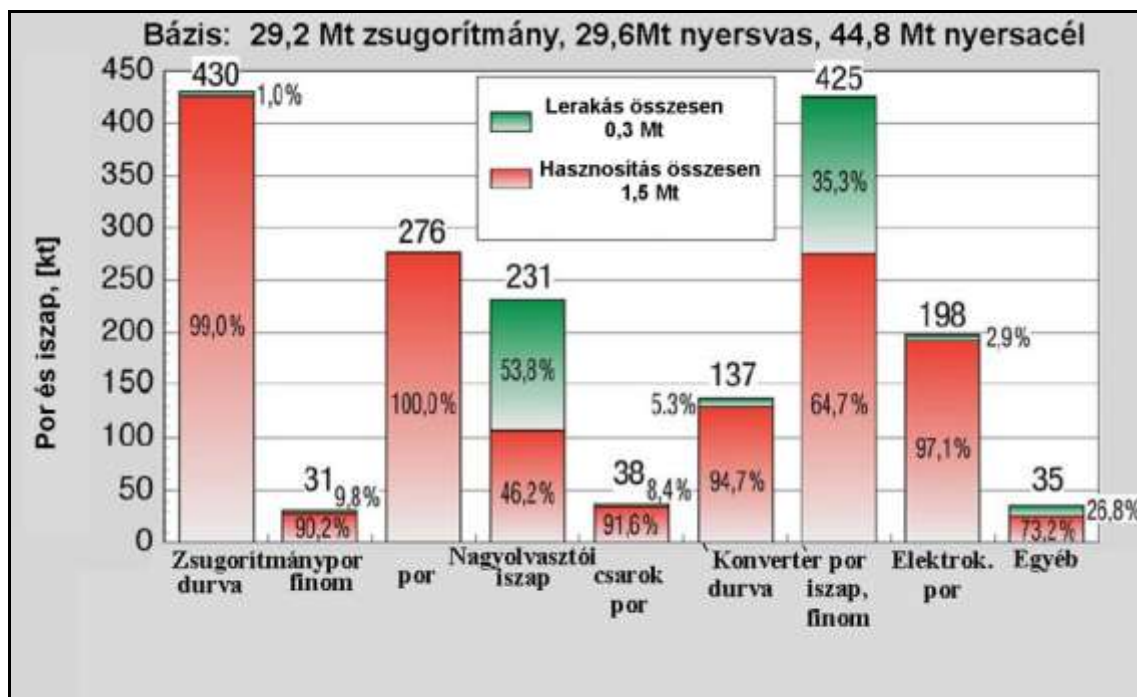


77. ábra A recikálható hulladékokban lévő elemek hasznosítható részaránya [53]

A porok és iszapok Fe-tartalmát a termelési ciklusba való visszajáratásukkal hasznosítják. Erre a zsugorítómű a legalkalmasabb. A zsugorítószalagra beadott anyagba bekeverhetők a megfelelően előkészített porok, víztelenített iszapok, olajtalanított revék. Nagy CaO-tartalmú salakok adagolásával kiváltható az elegy mésztartalmának egy része.

Ez a megoldás nem alkalmazható korlátlanul: a nagyolvasztó torokgázából származó por Cl-tartalma miatt, a nagyolvasztói és acélművi por és iszap pedig nagy nehézfém (elsősorban Zn) tartalma miatt nem, vagy csak korlátozott mértékben adagolható. A hengerművi revé olajtartalma okoz környezetvédelmi (légszennyezési) problémát.

A 78. ábra a porok és iszapok hasznosításának arányait mutatja a német acéliparban. Eszerint a keletkezett 2 Mt-ból 1,7 Mt-t (85 %) hasznosítottak és 0,3 Mt került letárolásra.



78. ábra A különböző hulladékok hasznosított részaránya a német acéliparban [53]

A zsugorítóműben közvetlenül nem hasznosítható olajos reve olajmentesítésére forgódobos kemencére alapozott eljárást dolgoztak ki; ezt követően a reve beadható a zsugorítómű elejébe.

A nagy Zn-tartalmú hulladékok hasznosítására dolgozták ki a DK eljárást. Ez lényegében speciális légtisztító és porleválasztó berendezéssel ellátott kisméretű zsugorítómű és ugyancsak kisméretű (460-580 m³) nagyolvasztó együttműködéséből kialakított rendszer. A termék öntészeti nyersvas és Zn-koncentrátum, amit jó áron értékesítenek. Ezzel az eljárással évente kb. 340.000 t hulladékot dolgoznak fel.

Másik megoldás az OxyCup eljárás. Itt a feldolgozandó hulladékot kokszporral és kötőanyagokkal keverik, majd brikettálják. A brikett kb. 5 nap alatt megkeményedik; ekkor kokszot és folyósító anyagot hozzáadva speciálisan kialakított aknás kemencébe adagolják. Ahogy az anyag lefelé halad, 1000 °C körül a C redukálja a vasoxidot, a keletkezett direkt redukált vas a hőmérséklet növekedésével összeolvad a beadagolt egyéb vasban dús hulladékokkal (elsősorban tapadványok, kifröccsenések). Ezzel az eljárással 176.000 t port és iszapot, valamint 81.000 t tapadványt dolgoznak fel évente. Érdemes megemlíteni, hogy ily módon a hulladékok C-tartalma is hasznosul.

Az elektrokemencéből kikerülő por ugyancsak jelentős mennyiségű Zn-t tartalmazhat. A termék Zn-tartalmát legalább 18 %-ra kell növelni ahhoz, hogy Zn-gyártásra alkalmas legyen. Erre a célra a következő eljárást dolgozták ki: az elektrokemencéből felfogott port visszafutvatják az acélfürdőbe, ahol a vastartalma hasznosul, a Zn-tartalom pedig gázfázisba kerül és a felfogott por Zn-tartalmát növeli.

5.2.4. Salakok

A vaskohászati salakok fajlagos mennyisége sokszorosa a többi hulladéknak: integrált acélművekben – ahol a nyersvasgyártás és az acélgyártás során is keletkezik salak – összesen kb. 400 kg/t nyersacél, elektroacélgyártásnál 170 kg/t a fajlagos mennyiségük.

A nyersvas gyártás során nyersacélra számítva kb. 275 kg/t kohósalak keletkezik. Jellemző összetétele:

CaO=31-40 %
SiO₂=29-38%
Al₂O₃=14-22 %
MgO=7-11 %
FeO=0,1-1,9 %
MnO=0,01-1,2 %
S=1-1,9 %
Bázicitás: 0,9-1,3

Fő összetevői a szilikátok, aluminoszilikátok és Ca-Al-szilikátok.

A *kohósalak* kémiai összetételénél és fizikai tulajdonságainál fogva több területen hasznosítható. Ennek függvényében változik az olvadt állapotú salak lehűtése és feldolgozása.

A granulált salakot úgy állítják elő, hogy az olvadt salakot ürítés közben nagynyomású vízszugárral hűtik; hatására porszerű, üveges szerkezetű termék keletkezik, ami betontermékek előállításánál a cementet helyettesítheti. A granulált salakot is tartalmazó beton lassabban köt, mint a csak Portland-cementet tartalmazó, de számos tulajdonsága kedvezőbb (nagyobb tartós szilárdság, jobb kémiai ellenállóképesség). Alkalmazásával csökkenthető a cementipar fajlagos CO₂ kibocsátása.

Másik megoldás szerint a folyékony salakot vékony réteget képezve a salakgödör aljára ürítik, ahol megdermed és kristályos szerkezetű lesz (levegőn lehűlt salak). A megdermedt salakot törik és osztályozzák. Tulajdonságai hasonlóak a természetes kőzetekéhez, ezért mesterséges kőzetként is felfoghatók. Alkalmazási területei ennek megfelelően elsősorban az építőiparban, útépítésnél, gátak építésénél meglehetősen változatosak. A Dunaferr kohósalakjából nagy mennyiséget használtak fel az M6 autópálya építése során. Örlés után műtrágyaként is használják; megfelelő eljárással gyapotszerű anyag készíthető belőle, amit épületek hőszigetelésére lehet használni.

Az oxigénes konverterből átlagosan 110 kg/t salak kerül ki. A *konvertersalak* jellemző összetételét a 36. táblázat tartalmazza.

36. táblázat Az oxigénes konverteres acélgyártás salakjának jellemző összetétele

Alkotó	Mennyiség(%)
CaO	40-52
SiO ₂	10-19
FeO	10-40 (70-80% FeO, 20-30% Fe ₂ O ₃)
MnO	5-8

MgO	5-10
Al ₂ O ₃	1-3
P ₂ O ₅	0.5-1
S	<0,1
Fémes Fe	0,5-10

A konvertersalakot a kohósalakhoz hasonló módon levegőn hűtik és a hasznosítás lehetőségei is hasonlóak. Nagy szabad CaO-tartalma miatt a feldolgozás után lassú, méretváltozással járó folyamatok játszódhatnak le benne, ami nehezíti az építőipari alkalmazást. Hosszabb tárolás során („öregítés”) stabilizálódik az anyag és ezután nincs akadálya a felhasználásnak.

Az elektroacélgyártás során 100-150 kg/t salak keletkezik az elektrokemencében és 10-30 kg/t az üstkemencében.

Az elektrokemence salak jellemző összetevőit a 37. táblázat tartalmazza.

37. táblázat Az elektroacélgyártás salakjának jellemző összetétele

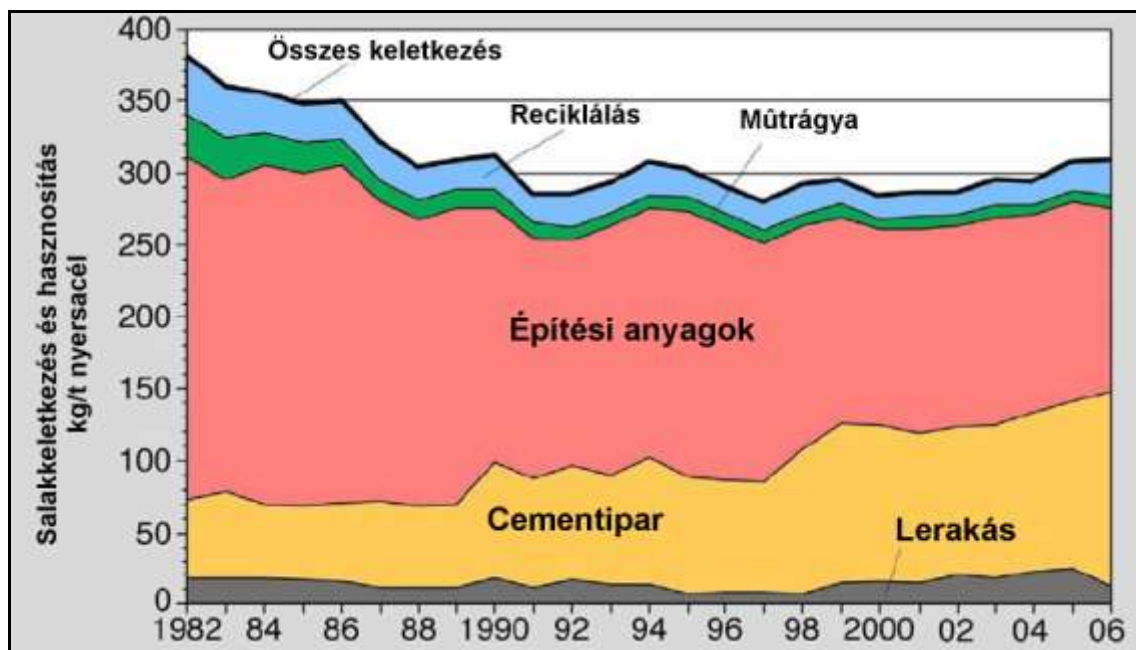
Alkotó	Mennyiség (%)
CaO	29
MgO	7
MnO	5
FeO	30
SiO ₂	19
Al ₂ O ₃	7

Fentiek mellett kisebb mennyiségben Cr, Zn, P, Na és K is van bennük.

A vaskohászati salakok döntő többségét a fejlett országokban ma már hasznosítják. A 74. ábrán a német példát mutatja be [53].

Mint látható, a salakok azon tulajdonságát használják ki legjobban, hogy összetételük és tulajdonságaik hasonlóak a természetes kőzetekéhez: útépítéshez, mélyépítésnél, gátak építésénél alkalmazzák. A konvertersalak felhasználása nagy CaO-tartalma miatt nehézségekbe ütközhet: a salak vízzel (nedvességgel) reagálva lassú bomlásnak indul és ez a folyamat méretváltozással (duzzadással) jár, ami az építményekben repedéseket okozhat. A probléma a salak hosszabb tárolásával (öregítés) elkerülhető: a méretváltozással járó folyamat lejátszódik és ezután a salak nem duzzad tovább. A Dunaferri kohósalakját nagy mennyiségben használták az M6 autópálya építésénél.

A cementipar – mint jeleztük – szívesen használja a granulált salakot, mert ezáltal csökkenteni tudja CO₂ kibocsátását.



79. ábra A vaskohászati salakok hasznosítása Németországban [53]

5.3 Környezetvédelmi szabályozás

Az EU élenjáró szerepet vállal a környezetvédelem fejlesztésében, jelentős erőfeszítéseket tesz a környezet terhelésének csökkentése érdekében. Ehhez elsősorban a jogi szabályozás eszközeit használja fel, amelyekben megfogalmazza az általa kitűzött célokat és rögzíti az ezekkel kapcsolatos mennyiségi és minőségi kritériumokat. Hazánkban az EU tagjaként ezeket a szabályokat el kell fogadni; a hazai szabályozás ennek megfelelően az EU előírások át vételén alapul.

Az EU illetékes szervezetei és az Európai Parlament aktivitása az elmúlt évtizedben igen jelentős volt ezen a területen: 2005 és 2007 között évente több mint 200 szabályzatot fogadtak el. Ezek között természetesen számos kisebb módosítás volt és legtöbbjük az acélipart sem érinti közvetlenül. A következőkben az acélipart leginkább érintő szabályzókval foglalkozunk röviden.

a. Az ipari emissziós direktíva (IED)

Mivel a környezetterhelés jelentős része az iparból származik, az Európai Bizottság 2007-ben döntött arról, hogy a nagy környezetterhelést okozó berendezések szennyező-kibocsátásának csökkentésére a törvény erejét is kihasználja. Az Ipari Emissziós Direktíva (Directive 2010/75/EU) 2011 januárjában lépett életbe és a tagállamoknak 2013. január 7-ig kellett átültetni saját jogszabályaikba.

Az IED a korábbi Ipari Szennyezés Csökkentés (IPPC) helyébe lépett és célja, hogy az EU területén működő iparvállalatok szennyező-kibocsátását csökkentse (korlátozza). A Direktíva alá eső vállalatoknak integrált környezetvédelmi működési engedélyt kell szerezni az illetékes hatóságoktól (összesen mintegy 50.000 vállalat, köztük az acélipari vállalatok).

A Direktíva legfontosabb alapelvei a következők:

- Integrált megközelítés, azaz az engedély elbírálásánál a vállalat valamennyi környezetvédelmi jellemzőjét (lég-, víz és talajszennyezés, hulladékkeletkezés, anyag és energia hatékonyság, zaj, stb.) összességében értékeli.
- A környezetvédelmi engedély kiadásának feltételei közé tartoznak bizonyos *kibocsátási határértékek*, amelyek a *Legjobb Elérhető Technikákon* (Best Available Techniques, BAT) alapulnak. A BAT Referencia Dokumentumok (BREF) és BAT következtetések kidolgozásába a tagországok szakembereit is be kell vonni.
- A Direktíva az érintett ágazatok követelésének eredményeképpen bizonyos határig rugalmas, azaz a kibocsátási határok egyes esetekben meghaladhatók, amennyiben bizonyítható, hogy a határérték elérésének költségei túlságosan nagyok a környezeti előnyökhöz képest (pl. a berendezés földrajzi elhelyezkedése, vagy a berendezés műszaki paraméterei miatt). A környezetvédelmi hatóságnak alaposan meg kell indokolni, ha él a rugalmasság lehetőségével.
- A tagállamoknak környezetvédelmi felügyelőségeket kell létrehozni és működtetni; ezeknek 1-3 évente helyszíni ellenőrzést kell végezni.
- A lakosságnak lehetőséget kell biztosítani, hogy részt vegyen a döntésekben és ehhez minden információt meg kell kapniuk

Az acélipar területéről a kokszolás, zsugorítmánygyártás, nyersvas- és acélgyártás esik közvetlenül a direktíva hatálya alá; a feldolgozó technológiák a nagyteljesítményű tüzelő berendezéseken keresztül jutnak ide.

b. Az acélipar BAT Referencia Dokumentumai

Az IED konkrét megvalósulásának legfontosabb elemei a BAT dokumentumok. Az első acélipari BAT dokumentumok az ezredforduló táján készültek és 2007-ban született döntés a megújításukról; a munkába a tagországok acéliparának képviselőit is bevonták. Az első tervezet 2010 során készült el; a végleges dokumentumot 2012-ben tették közzé [49]. A dokumentumra teljes címe (Best Reference Document on Best Available Techniques) miatt gyakran BREF-dokumentumként hivatkoznak. A legfőbb megállapításokat külön dokumentumban is összefoglalták (BAT következtetések, BAT conclusions).

A meglehetősen terjedelmes dokumentumot (~ 500 oldal) 2011-ben fogadták el. Az IED előírásainak megfelelően kokszolással, zsugorítmány-gyártással, konverteres és elektro- acélgyártással foglalkozik. Az EU acélipari vállalataitól kapott adatok alapján információkat tartalmaz az alkalmazott eljárásokról és technikákról, a tényleges emissziókról és felhasznált anyagokról, energiahordozókról; ezen információk felhasználásával azonosítja azokat a megoldásokat, amelyeket a BAT meghatározásánál figyelembe lehet venni. A BAT lényegében olyan katalógus, amely röviden ismerteti a szóba jöhető technikákat, azok környezetvédelmi előnyeit, az eljárások kölcsönhatásait és költségeit, alkalmazási példákat, minden esetben megjelölve az irodalmi forrásokat.

Az elemzések során arra koncentrálnak, hogy a tárgyalt technikákkal hogyan lehet a levegő és vízszennyezést, a zajkeltést, hulladékok keletkezését, a gyártáshoz szükséges anyagok, az

energia és a víz felhasználását csökkenteni. Az adott technikával elérhető kibocsátási adatok (BAT-AEL) – mint leírtuk – szolgálnak alapul az IED szerint a környezetvédelmi engedély kiadásához.

Külön fejezet foglalkozik a már alkalmazásban lévő alternatív technológiákkal és a kutatás-fejlesztési fázisban lévő új megoldásokkal.

A dokumentum legfontosabb része a BAT Következtetések (BAT conclusions), amely önálló formában is elérhető. A dokumentum ezek mellett röviden megadja a határértékek megállapításánál figyelembe vett technikákat és hivatkozik a törzsdokumentum megfelelő fejezeteire, ahol részletesebb információk érhetők el az említett technikákról.

Az Ipari Emissziós Direktívát a tagállamoknak 2013 januárjáig el kellett fogadni és 2014 januárjától életbe kell léptetni. Mivel a továbbiakban csak a Direktívában rögzített emissziós határértékeknek megfelelő kibocsátással engedélyezik a működést, ez nagy kihívás az acélipari vállalatok számára; egyelőre beláthatatlan, hogy milyen következményekkel jár.

c. A megújított hulladék direktíva (2008/998/EC)

A módosításra azért volt szükség, mert egyre több hulladékot hasznosítottak és a korábbi rendeletben nem volt világos a hulladék és nem hulladék státus definíciója. Így egyebek között az alábbi fogalmakat is definiálták:

- *hulladék*: amit a tulajdonos nem hasznosít,
- *újrafelhasználás*: használt termékek, alkatrészek újbóli használata (pl. autóalkatrészek),
- *kezelés*: a hulladék előkészítése hasznosításra, vagy letárolásra,
- *hasznosítás*: a hulladék felhasználása más anyagok kiváltása céljából,
- *visszajáratás (reciklálás)*: a hulladékban lévő anyag hasznosítása az eredeti célra.

Az acélipar szempontjából különösen fontos a melléktermékek definíciója. Ezek szerint a melléktermék olyan anyag, vagy termék, amely nem volt célja az adott termelési folyamatnak, de kielégíti az alábbi követelményeket:

- biztos, hogy használni fogják,
- a szokásos termelési folyamaton kívül továbbfeldolgozás nélkül hasznosítható,
- keletkezése a termelési folyamat közvetlen következménye,
- hasznosítása nem sérti a törvényt (egészségügyi, környezetvédelmi, jogi szempontból).

A hulladék kategóriából kikerülés feltétele, hogy garantáltan hasznosításra kerüljön sor, azaz legyen megfelelő piaca.

Az acélipar számára az acélhulladék átsorolásának lehetősége rejtett veszélyeket: meghatározott feltételek mellett az acélhulladékot termékkel lehet átsorolni. Az átsoroláshoz meghatározott feltételeket kell teljesíteni elsősorban a minőségbiztosítás területén, ami költségekkel és az acélhulladék árának növekedésével jár. Az acélművek attól is féltek, hogy a hulladékhasznosítással nekik járó kedvezmények így megszűnnek, ezért erőteljes lobbizás indult meg az átsorolás ellen. Mivel az átsorolás nem kötelező, az acélművek és a hulladékszállítók többsége az EU-ban a korábbi gyakorlatot követi, azaz nem él az átsorolás lehetőségével.

d. *Környezetirányítási rendszerek (ISO 14001)*

Az ISO 14000 a környezetirányítási rendszereket átfogó szabványcsalád, amelynek célja a vállalatok támogatása a következőkben:

- tevékenységük negatív környezeti hatásainak minimalizálása,
- megfelelés a környezetvédelmi szabályozóknak,
- ezirányú tevékenységük folyamatos fejlesztése.

Ideológiája és módszerei hasonlóak az ISO 9000 minőségbiztosítási rendszerekéhez. Az ISO 14001 követelményrendszere integráns része az EU ECO-menedzsment és Audit Rendszerének (EMAS).

Az ISO 14001 alapelve és módszerei az alábbiakban foglalhatók össze:

- a. *Tervezés*: a célok és a hozzá szükséges eljárások meghatározása (a vállalat környezetvédelmi helyzete és a követelményrendszer elemzése alapján)
- b. *Megvalósítás*: a célokhoz szükséges erőforrások megteremtése, az eljárások kidolgozása, a dolgozók képzése, dokumentációk elkészítése, stb.
- c. *Ellenőrzés*: az eredmények ellenőrzése és vizsgálata, az eredmények dokumentálása
- d. *Akció*: a menedzsment értékeli az eredményeket és meghatározza a környezetvédelmi teljesítmény tovább javításának céljait.

A környezetirányítási rendszereket a minőségirányítási rendszerekhez hasonlóan független, arra kijelölt minősítő szervezetek vizsgálják és tanúsítják.

6. AZ ACÉLIPAR ENERGIAFELHASZNÁLÁSA ÉS CO₂ KIBOCSÁTÁSA

6.1. Bevezetés

Az acélipar azon ágazatok közé tartozik, amelyeknek nagy az energiasűrűsége: az egységszerű termék előállításához felhasznált energia mennyisége. Ennek fő okai a következők:

- az acélipari technológiák legnagyobb része nagy hőmérsékleten működik
- a termeléshez fajlagosan igen nagy mennyiségű anyagot használnak fel (l. előző fejezet), amit szintén nagy hőmérsékletre kell felhevíteni
- a vasércben lévő vasoxidokat koksszal (szénnel) redukálják. Bár a C-t a nyersvasgyártás során nem energetikai céllal használják, az acélipar energiasűrűségének értékelése során mindig energiahordozóként számítják be.

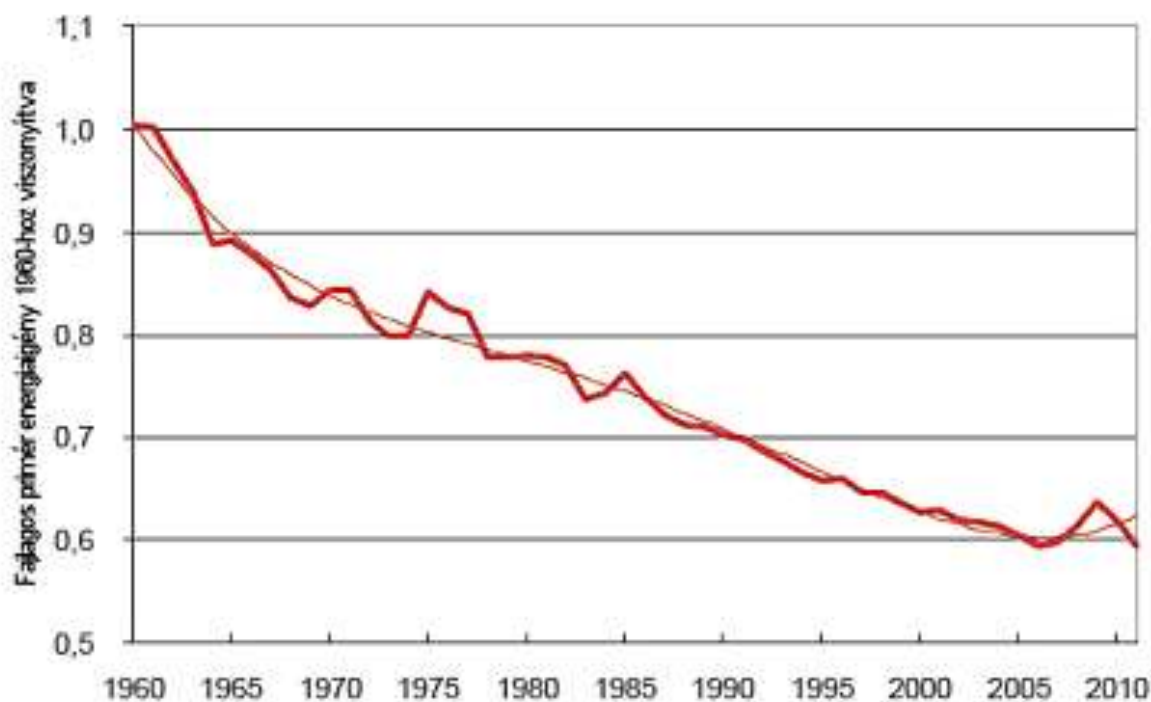
Az integrált acélművek energiasűrűségének kb. 95 %-a szilárd energiahordozókon (koksz, ill. ennek alapanyaga, a kokszolható szén) alapul; 3-4 % lehet a földgáz és 1-2 % a folyékony energiahordozók részaránya. Elektroacélművek esetében a villamos energia részaránya a meghatározó; a villamosenergia-termelés forrásainak aránya országoként változik (szén, szénhidrogének, uránérc, megújuló források).

Az EU energiahordozókban szegény: az importfüggőség összességében 50% körüli, de a földgáz esetében 60%, a kőolaj esetében pedig közel 90 %-ra tehető az import részaránya. A jelenlegi tendenciák alapján az energiasűrűség várhatóan tovább nő, ami növeli az ezzel járó kockázatokat is.

Az energiahordozók ára az elmúlt évtizedekben igen jelentősen nőtt, ami növelte az acélipar termelési költségeit. Az energiaköltségek a termelési költségek 20-35 %-át teszik ki (az anyagköltségek mellett ez a legnagyobb tétel); az acélipari vállalatok ezért évtizedek óta törekednek fajlagos energiaigényük csökkentésére, a 75. ábra tanúsága szerint nem is eredménytelenül. (Fakten zur Stahlindustrie): 1960-tól napjainkig 40 százalékos volt a csökkenés.

Az energiaköltségek mellett az elmúlt évtizedben új, jelentős hajtóerő jelent meg a vállalatok fajlagos energia felhasználásának csökkentésére: a klímavédelem. Mivel a jelenleg legveszélyesebbnek tartott üvegházhatású gáz, a CO₂ kibocsátása és az energiasűrűség között közvetlen összefüggés van, a klímavédelmi intézkedések egyúttal az acélipar energiasűrűségének csökkentését teszik szükségessé.

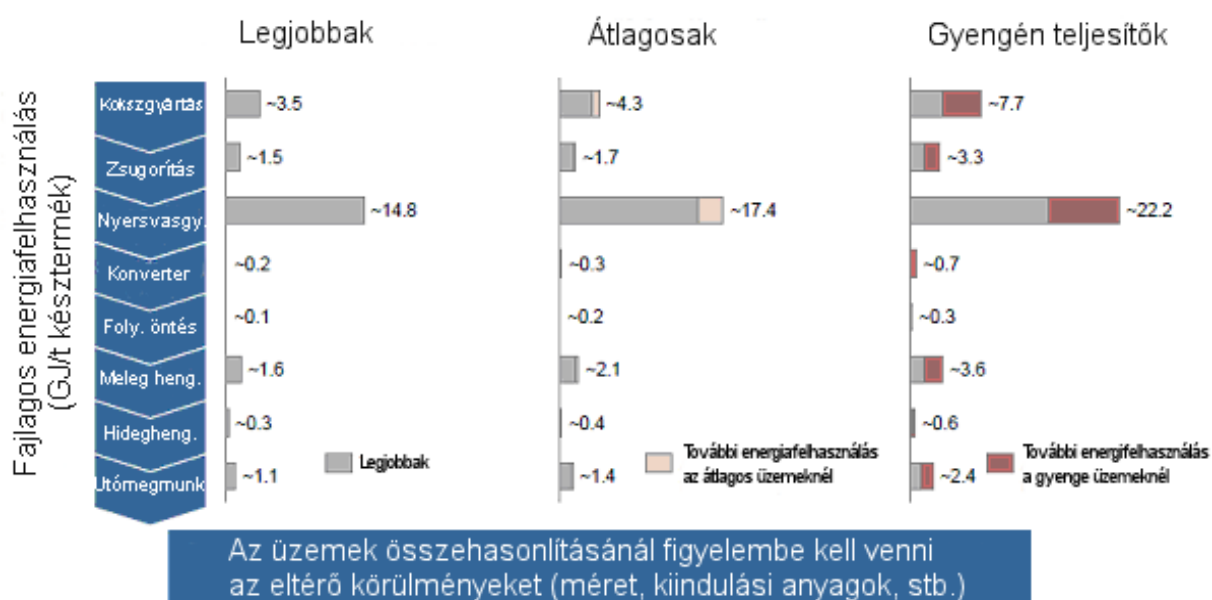
A következőkben először áttekintjük az acélipari technológiák energia igényét és csökkentési lehetőségeit, majd a klímaszabályozással összefüggő területeket tárgyaljuk, végül összefoglaljuk az acélipar objektív megítélését elősegítő életciklus vizsgálatok lényegét és néhány eredményét.



80. ábra Az acélipar fajlagos energiaigényének változása Németországban [51]

6.2. Az acélipari technológiák energia igénye

Az egyes technológiai lépcsők fajlagos energiaigénye technológiáinként és a vállalat (berendezés, eljárás) energiahatékonyságának függvényében egyaránt jelentősen változik (76. ábra).



81. ábra Az acélipari technológiák fajlagos energiaigénye a legjobb, az átlagos és a gyenge energiahatékonyságú vállalatoknál [54]

Mint látható, a nyersvasgyártás messze a legnagyobb energiaigényű technológia; a második helyezett kokszyártás ennek csekély töredéke, a többi technológia pedig ennél is kevesebb energiát igényel. Az ábra azt is jól szemlélteti, hogy a leghatékonyabb és a leggyengébb vállalatok között igen jelentős különbségek vannak.

A következőkben technológiaként áttekintjük az energiaigényt és a megtakarítási lehetőségeket.

6.2.1. Kokszyártás

A kokszyártás során a kokszolható szenet 1000-1200 °C-ra hevítik, hogy az illékony vegyületeket és a nedvességet eltávolítsák belőle. 1 t kokszyártásához 3,5-5 GJ/t energiára és kb. 1,6 t szénre van szükség. A szén minősége jelentősen befolyásolja a nyersvasgyártás kokszyigényét: 1 % hamutartalom növekedés 2 %-kal növeli kokszyfelhasználást.

A fajlagos energiaigény fontosabb csökkentési lehetőségeit a 38. táblázatban foglaltuk össze.

38. táblázat Kokszyártásnál a fajlagos energiaigény csökkentési lehetőségei

<i>Technológia</i>	<i>Energiamegtakarítási lehetőség</i>
Száraz oltás: víz helyett inert gázzal (nitrogénnel) hűtik a kokszt és a forró gáz hőtartalmát gőztermelésre használják	~ 1,5 GJ/t (400-500 kg nagyhőmérsékletű gőz)
Automatizálás és folyamatszabályozás	~ 0,17 GJ/t
A betétanyag (szén) nedvességtartalmának csökkentése	0,13-0,18 GJ/t
Kamragáz visszajáratás (non-recovery system) A kamragázt a kamrán belül elégetik és a hőt hasznosítják, nem keletkezik melléktermék. Speciális konstrukciót igényel.	630-700 kWh/t
Egykamrás rendszer (előmelegített szenet adagolnak, az energiahatékonyság javul). Speciális konstrukció	Az energiahatékonyság csaknem kétszeresére nő

6.2.2. Zsugorítmánygyártás

A zsugorítmánygyártás fajlagos energiaigényére vonatkozó adatok 1,6-1,9 GJ/t között változnak; az elméleti érték 1,2 GJ/t körüli. Az energiaigény csökkentésére itt is több lehetőség van; a fontosabbak a következők.

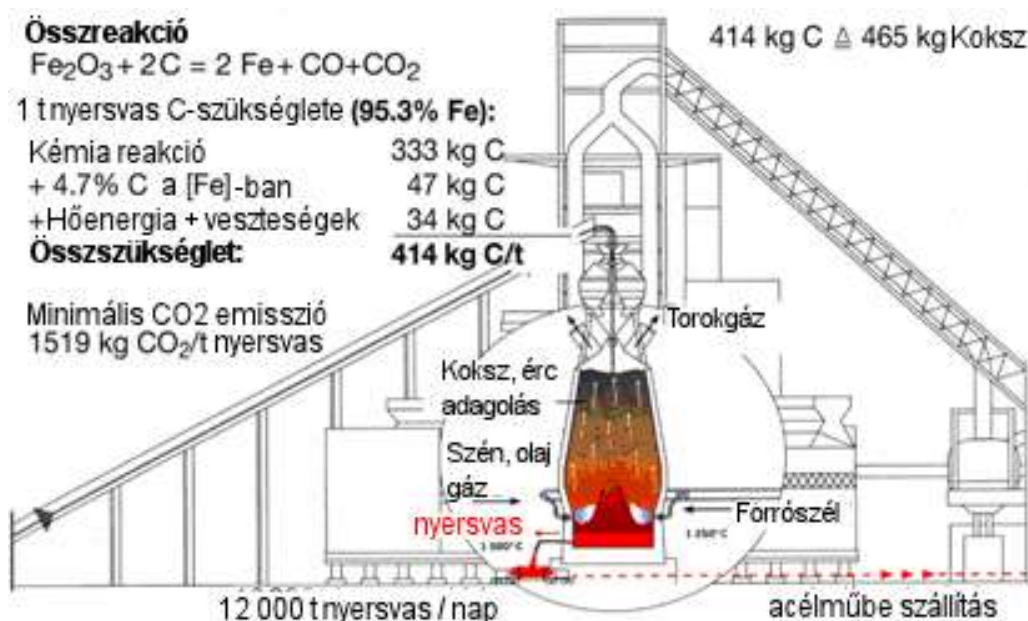
39. táblázat Zsugorítmánygyártásnál a fajlagos energiaigény csökkentési lehetőségei

<i>Technológia</i>	<i>Energiamegtakarítási lehetőség</i>
Az elszívott gáz és a hűtőlevegő hőtartalmának hasznosítása	0,34-0,48 GJ/t
Szelektív gázrecirkulálás (EPOSINT). Az elszívás intenzitása változik a szalag mentén; a legtöbb por és a legnagyobb hőmérséklet a szalag	10 MJ/t

végén van, ezt a gázt járatják vissza az elejére	
Emisszió-optimalizált zsugorítás (EOS). A teljes szalagot zárt térben működtetik; az elszívott gázt recirkulálják. 50-60%-kal csökken a gáz (levegő) igény. A gáz CO-tartalma hasznosul.	20-30 %
Emisszió és energia-optimalizált zsugorítás. A szalag második felében lévő gázt gyűjti és visszajáratja. A benne maradt oxigén hasznosul. Csak a szalag elején lévő elszívott gáz távozik a rendszerből; ez tisztább és kisebb hőmérsékletű	10 MJ/t
Hulladék energiahordozók hasznosítása. Az égéshővel rendelkező hulladékokkal (pl. olajok) kiváltható az elegyben lévő kokszt egy része	0,18 GJ/t

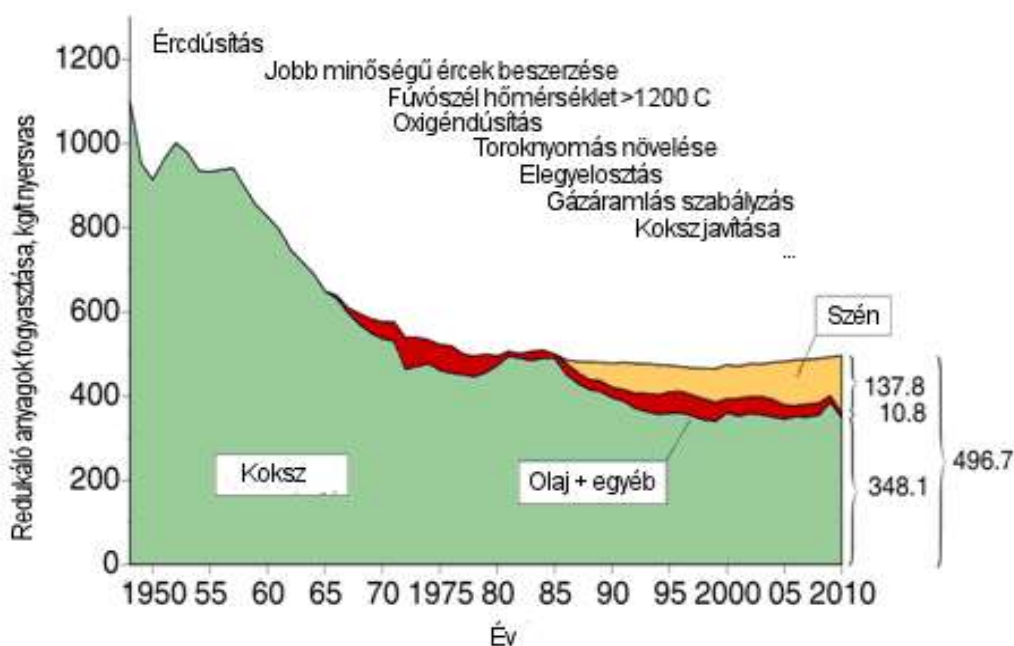
6.2.3. Nyersvasgyártás

A nyersvasgyártás energiaigényét leggyakrabban a fajlagos kokszt felhasználással jellemzik; ezt a mutatót sokszor nem is energia- hanem redukálószer felhasználásként definiálják. Ennek lehetséges minimális értékét a vasoxid redukálásához szükséges C mennyisége határozza meg, amit 414 kg C/t nyersvas értékre becsülnék (pontosan azért nem adható meg, mert a vas különböző oxid formában lehet jelen a betétanyagban, 77. ábra).



82. ábra A redukálószer hasznosulása a nagyolvasztóban

A nyersvasgyártás fajlagos koksztigénye az elmúlt 50 évben kb. a felére csökkent. Az ábrán az is jól látható, hogy a koksztot igyekeznek más redukálószer adagolásával helyettesíteni, aminek elsődleges oka, hogy a kokszt ára esetenként igen magasra szökött és az elérhetőségével is voltak gondok (magyarázat: a világ koksztolható szén szállításának 80-85 %-át három vállalat tartja kézben, akik gyakorlatilag kizárják az érdemi piaci versenyt). (78. ábra).



83. ábra A redukálószeres fajlagos felhasználásának alakulása Németországban [55]

A korszerű nagyolvasztók energiahatékonysága ma igen jónak ítéltető; a fajlagos redukálószer-igény nincs messze az elméletileg lehetséges értéktől (v. ö. 77. ábra).

A fejlett országokban számos olyan technológiai megoldást alkalmaznak, melyeket átvéve a többi országban még jelentős csökkentést lehetne elérni. Az alábbiakban ezekről adunk rövid áttekintést.

A nyersvasgyártás fajlagos energiaigényét 12,2-13,5 GJ/t-ban adják meg. A csökkentési lehetőségek a 40. táblázat szerintiek:

40. táblázat A nyersvasgyártás energiaigényének csökkentési lehetőségei [54-55]

<i>Eljárás</i>	<i>Energiamegtakarítási lehetőség</i>
Szénpor befúvás. 170-200 kg/t szénport fúvatnak be. Egy tonna szénporral 0,85 – 0,95 tonna kokszt takarítható meg	3,76 GJ/t befúvott szénpor
Nagy toroknyomású gáz hasznosítása. A kb. 3 bar nyomású, 200 °C gázzal speciális turbinát hajtják meg és villamos energiát termelnek. A turbinából kikerülő gáz égéshője megmarad és máshol hasznosítható.	15-40 kWh/t nyersvas
A léghevítők hulladékhőjének hasznosítása. A léghevítők fűtésének energiaigénye ~ 3 GJ/t nyersvas. A maradék hőt az égéslevegő előmelegítésére használhatják.	0,24-0,3 GJ/t
A forrószél hőmérsékletének növelése 1000 °C fölé	0,5 GJ/t

Olajbefűvés	1,2 t kokszt/t befűvott olaj
Földgázbefűvés	0,9 GJ/t
Torokgáz recirkulációja A torokgáz CO és H ₂ tartalmának hasznosítása csökkenti a kokszigényt. Ilyenkor levegő helyett oxigént fuvatnak be. Kísérleti stádiumban különböző eljárások ismertek.	A fajlagos kokszigény 25%-kal csökkenthető
A salak hőtartalmának hasznosítása. Nincs kiforrott technika.	0,35 GJ/t

6.2.4. Konverteres acélgyártás

A konverteres acélgyártásnál a folyékony nyersvasba ~ 50 m³/t oxigént fuvatnak, ami a nyersvas C-tartalmával exoterm reakcióba lépve biztosítja a szükséges hőmérsékletet és a C-tartalmat a szükséges szintre csökkenti. Reakciótermékként nagy CO-tartalmú gáz keletkezik, amit alapesetben elfákláznak, jobb helyeken hasznosítanak. A nyersvas mellett acélhulladékot adagolnak a konverterbe, amivel védekeznek a túlhevülés ellen (hűtő betét).

A konverteres acélgyártás fajlagos energiaigényének csökkentési lehetőségei a 41. táblázat szerintiek.

41. táblázat A konverteres acélgyártás energiaigényének csökkentési lehetőségei

A konvertergáz kémiai hőtartalmának (CO) hasznosítása (elégetés kazánokban vagy tüzelő berendezésekben)	0,125 GJ/t
A nagy hőmérsékletű konvertergáz fizikai hőtartalmának hasznosítása (gőztermelés)	0,54-0,92 GJ/t

A konverteres acélgyártás ezen lehetőségek kihasználásával nettó energiatermelő műveletté válik (átlagosan 0,3-0,4 GJ/t-ra tehető az energiatöbblet).

A klímavédelmi szabályok szigorodása további csökkentést tesz szükségessé. Ennek legegyszerűbb módja az acélhulladék részarányának növelése a betétben, amivel csökkentjük a nyersvasigényt, összességében az integrált acélgyártás energiaigényét.

6.2.5. Elektroacélgyártás

Az elektroacélgyártás legelterjedtebb módja, hogy a kemencébe adagolt acélhulladékot villamos energia segítségével megolvasztják, majd a kívánt hőmérsékletet és összetételt elérve csapolják le. Ehhez modern kemencékben 350-370 kWh/t nyersacél energiára van szükség. A fejlődés itt is jelentős volt: az 1970-es évek elején még 630 kWh/t volt a fajlagos felhasználás; a mai adatok átlaga 400 kWh/t körül lehet.

A fajlagos felhasználás csökkentésére alkalmazott technikák a 42. táblázat szerintiek.

42. táblázat Az elektroacélgyártásban az energiaigény csökkentésének lehetőségei

<i>Eljárás</i>	<i>Energia megtakarítás</i>
Nagyteljesítményű transzformátor (UHP) alkalmazása	1 MW teljesítmény növeléssel 1,1 kWh/t megtakarítás
Az elszívott gáz kémiai és fizikai hőjének hasznosítása	6-11 %
Habos salak alkalmazása	6-8 kWh/t
A hulladék előmelegítése az adagoló kosárban Speciális aknában az elszívott gáz hőjével	0,016-0,2 GJ/t 77-110 kWh/t
Egyenáramú kemence alkalmazása	0,036-0,072 GJ/t
Légszigetelten működő (airtight) kemence	110 kwh/t
Speciális egyenáramú kemencék (COMELT, Contiar, twin-shell)	100-200 kWh/t
A kemencében lévő gáz utóégetése	2-8 %
A kemenceműködés folyamatszabályozása	10-15 %

6.2.6. Üstmetallurgia, folyamatos öntés

Ezeknél a technológiáknál a folyékony acéllal végeznek további műveleteket, ezért energiaigénye lényegesen kisebb a korábbi műveletekénél. A nemzetközi szakirodalom mindkét műveletre 0,1 GJ/t fajlagos energiaigényt jelez.

A folyamatos öntés technológiája az elmúlt évtizedekben elsősorban a végmérethez közeli öntési technológiák fejlesztésével járult hozzá az energiafelhasználás csökkentéséhez. Az öntött félterméken elvégzendő alakítási műveletek csökkentésével jelentős energia megtakarítás érhető el a meleghengerrés során.

Másik energiatakarékos megoldás, hogy az öntött féltermék fizikai hőtartalmát hasznosítják: öntés után nem hagyják lehűlni, hanem közvetlenül, vagy hőpótló-hőkiegyenlítő kemence közbeiktatásával indítják a meleghengerrést.

6.3. A klímavédelem és az acélipar

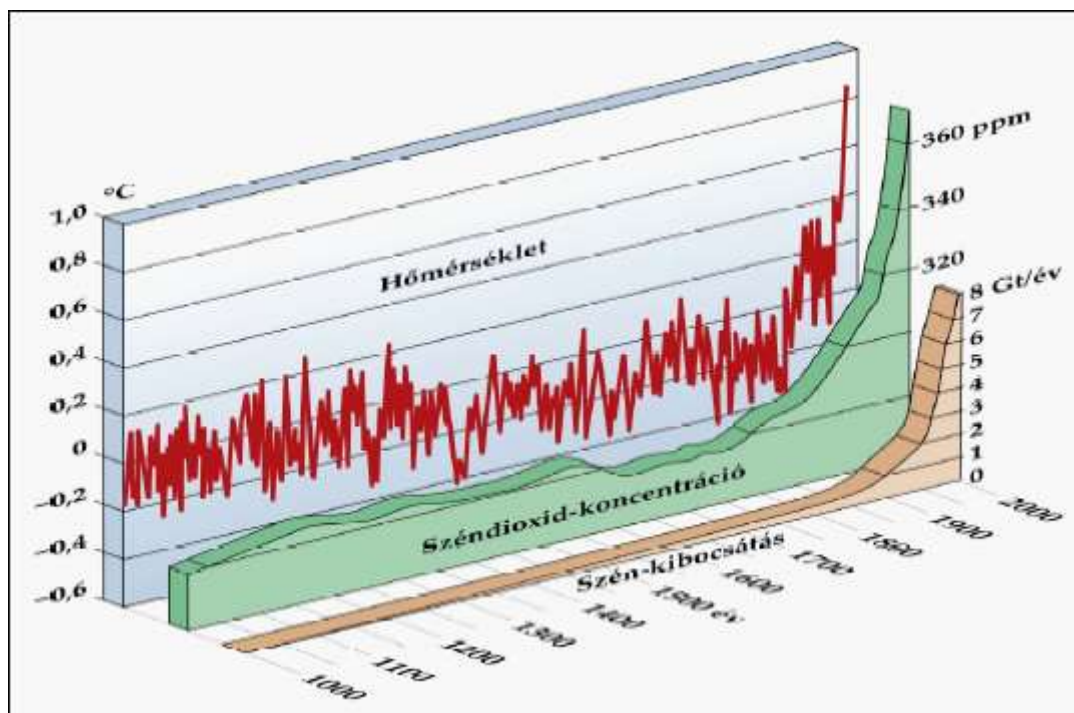
6.3.1. A klímaváltozás és a CO₂ kibocsátás

A Föld átlagos hőmérséklete története során gyakran változott; a változások iránya különböző volt: időszakos felmelegedések és lehűlések váltották egymást. Jellemző volt ezekre a változásokra, hogy ütemük emberi léptékkal lassú volt: az átmenetet leginkább évezredekben lehetett mérni (kivéve néhány váratlan kozmikus eseményt, pl. nagyméretű meteor becsapódását, jelentős vulkánkitörést).

A tudósok a 20. század második felében figyeltek fel arra, hogy a Föld átlaghőmérséklete a szokásos jelentős ingadozások mellett határozottan növekvő tendenciát mutat. A jelenség magyarázatát az üvegházhatásban keresték. Ennek lényege, hogy a légkör egyes alkotó elemei akadálytalanul átengedik a napból érkező rövidhullámú sugárzást, a Föld felületéről visszaverődő hosszuhullámú sugárzást viszont elnyelik; ezáltal melegedik a légkör és az alatta lévő Föld. Az üvegházhatásnak köszönhetjük Földünk viszonylag mérsékelt hőmérsékletét: enélkül 39 °C-al lenne alacsonyabb az átlaghőmérséklet. A legfontosabb üvegházhatású gáz a vízgőz, a CO₂, a metán és a dinitrogén oxid (N₂O). A vízgőznek a legerősebb a hatása, de élettartama

a légkörben rövid (~ 10 nap); a másik háromé sokkal hosszabb (10-200 év). Az utóbbi három gáz esetében az emberi tevékenység hatására a légkörbe kerülő mennyiségük növeli koncentrációjukat a légkörben. A három veszélyesnek ítélt gáz közül messze a CO₂ kibocsátás a legnagyobb, hisz az emberiség energiaszükségletének döntő többségét fosszilis energiahordozók elégetéséből fedezi.

A klímakutatóknak megvannak a módszerei arra, hogy évezredekre, évmilliókra visszamenőleg megbecsüljék a Föld hőmérsékletét és a légkör CO₂ tartalmát. A 79. ábrán az elmúlt 1000 évre mutatjuk be az átlaghőmérséklet változását, a légkörbe kibocsátott CO₂ mennyiségét és a légkör CO₂ tartalmát.



84. ábra A Föld átlaghőmérsékletének, CO₂-tartalmának és a szénkibocsátásnak a változása az elmúlt 1000 évben [56]

A diagram jól szemlélteti, hogy az 1800-as évektől (az ipari forradalom kibontakozása) kezdve mindhárom mutató meredeken nőni kezdett. A légkör CO₂ tartalma évszázadokon át 300 ppm körül mozgott; az ezredfordulóra meghaladta a 360 ppm-t. Ebben nem maga a trend, hanem a változás sebessége riasztó (hasonló adatokat a földtörténet korábbi periódusaiban is mértek), valamint az, hogy az emberi tevékenység hatása ilyen egyértelműnek látszik.

A veszélyt felismerve az is nyilvánvalóvá vált, hogy a CO₂ kibocsátás csökkentése csak globális méretekben kezelhető. Az ENSZ Éghajlatváltozási Keretegyezménye (UNFCCC) 1992-ben már tükrözi ezt a szemléletet: a fejlett országok vállalták, hogy kibocsátásuk 2000-ben nem lépt túl az 1990 évit. Rövidesen kiderült, hogy ez nem elegendő; így született meg 1997-ben a Kyotoi Egyezmény, amelyben 38 ország vállalta, hogy kibocsátásukat 2012-ig átlagosan 5,2 %-kal csökkentik. Az EU 15 országok 8 % csökkentést vállaltak; az EU-ba igyekvő Közép-Európai országok elérték, hogy esetükben nem 1990, hanem az 1985-87 évek átlaga lett az összehasonlítási alap (a rendszerváltás gazdasági hatásai következtében kibocsátásuk

1990-ben lényegesen kisebb volt, mint az említett években). Magyarország 6 % csökkentést vállalt.

6.3.2. Az EU klímapolitikája és az emissziókereskedelmi rendszer (ETS)

Az Európai Bizottság az Unióban a kibocsátás közvetlen korlátozása helyett „piaci” eszközzel, a CO₂ kereskedelem bevezetésével kívánta biztosítani a Kyotoi Szerződésben vállalt kötelezettségek teljesítését. Ennek lényege, hogy a kibocsátók meghatározott köre adott mennyiségű CO₂ kibocsátására kap engedélyt (kvótát); a fel nem használt mennyiséget a kvótapiacra értékesítheti, ill. – ha többlet kvótára van szükség – megvásárolhatja.

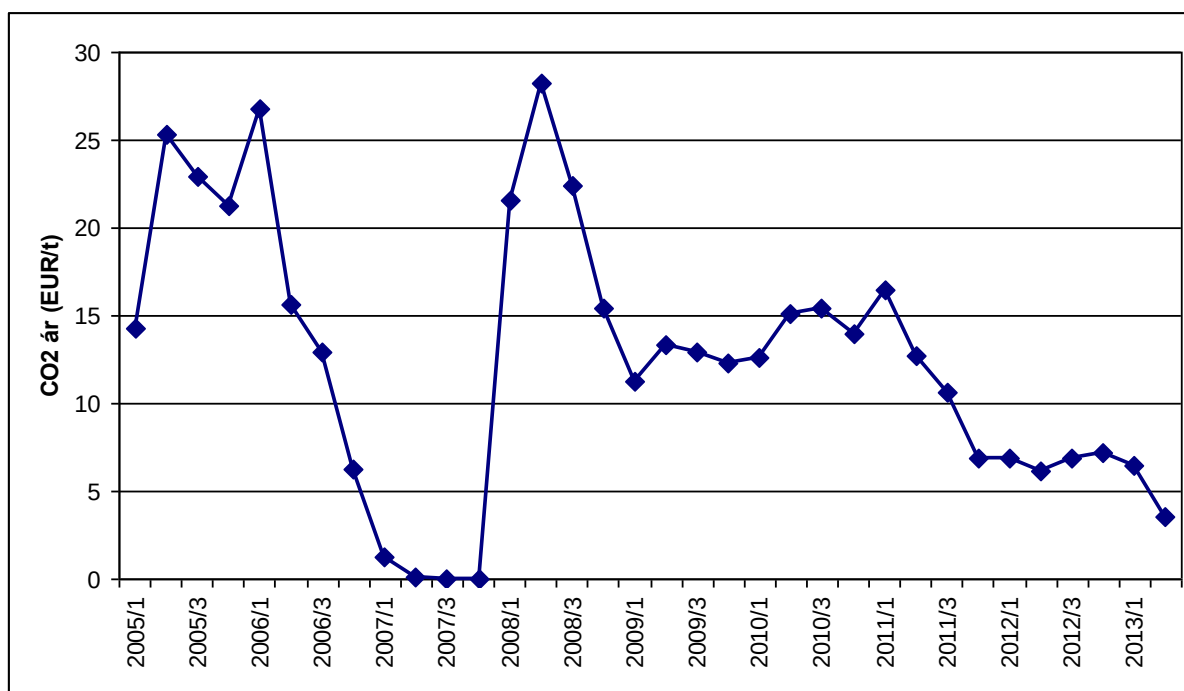
A Kyotoi szerződésben az EU a kibocsátás 8%-os csökkentését vállalta 2012-ig. Ennek alapján alakította ki az Európai Bizottság az emisszió kereskedelmi rendszert (Emission Trade System, ETS), amely 2005-ben lépett működésbe. Alapprobléma volt, hogy a nagy kibocsátó ágazatoknak csak egy részére (hő- és energiatermelés, acélipar, építőanyag ipar, papíripar) terjedt ki és több nagy kibocsátó (pl. közlekedés, mezőgazdaság) nem esett hatálya alá. További probléma volt, hogy az ún. érzékeny iparágak (amelyek termékei a világpiacra cserélnek gazdát) versenyképességét rontották volna az emisszió kereskedelem költségei. *Az érintett iparágak – köztük az acélipar – intenzív lobbimunkája végül eredménnyel járt: ingyen juthattak hozzá a rájuk meghatározott kvótamennyiséghez.*

Az *első (kísérletinek szánt) kereskedelmi periódus* 2005-től 2007 végéig tartott. A kvótakiosztást – előzetes tapasztalatok hiányában – lényegében önbevallásos alapon, a korábbi kibocsátások és a tervezett termelési adatok figyelembe vételével hajtották végre. A kibocsátók a kvóták 95%-át ingyen kaphatták meg.

A lényegében önbevallásra alapozott módszer eredményeképpen – mint várható volt – szinte kivétel nélkül minden kibocsátó több kvótához jutott, mint amit ki tudott bocsátani. A CO₂ kvóták ára a periódus elején meredeken nőtt (~ 30 €/t-ig), majd amikor az adatok alapján nyilvánvalóvá vált, hogy nagy lesz a felesleges kvóták mennyisége, tizedére, a periódus végére pedig néhány Euro centre csökkent (80. ábra).

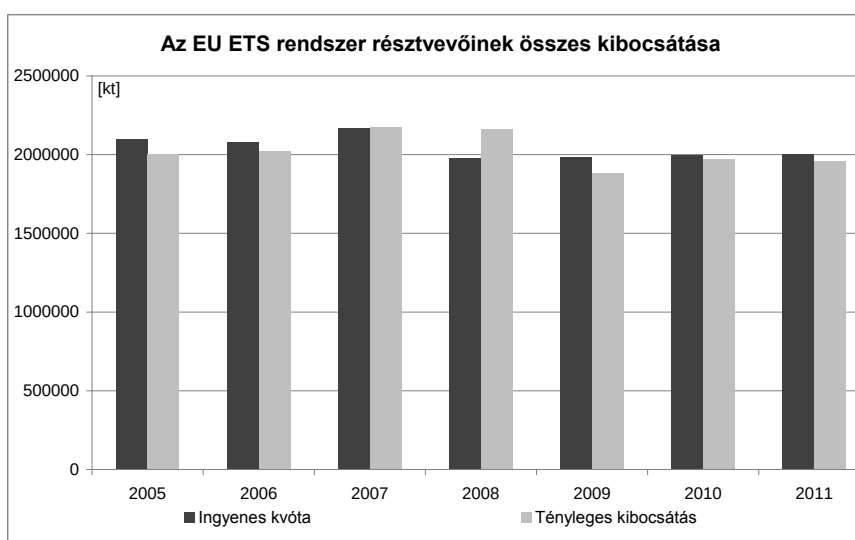
A *második kereskedelmi periódus* (2008-2012) kvótakiosztásánál már figyelembe vették a tapasztalatokat és lényegesen csökkentették az ingyenesen elérhető kvóták mennyiségét. A 2008-2012 közötti kvótákat nem a korábbi kiosztásra alapozták, hanem a 2005 évi tényleges kibocsátási adatokra. Ennek eredményeképpen kevés kivétellel a 2005 évi tényleges kibocsátásoknál kevesebb kvótát kaptak az országok. Az ingyenesen kiosztható kvóta mennyisége 90 %-ra csökkent.

Az eredmény nem maradt el: 2008 első felében számos vállalatnál kvótahiány lépett fel és a CO₂ kvóták egységára ismét 30 €/t körüli értékre nőtt. A piaci feszültséget a 2008 második felében megindult gazdasági válság oldotta fel: a termelés és ennek megfelelően a CO₂ kibocsátás is EU-szerte visszaesett. Újra túlkínálat alakult ki a CO₂ piacon, és az árak felére, majd harmadára csökkentek.



85. ábra A CO₂ kvótaárak alakulása 2005-től napjainkig

A 81. ábrán az EU emissziókereskedelmi rendszer résztvevőinek összes kibocsátását és kiosztott kvótáik mennyiségét mutatjuk be 2005-2011 között. Látható, hogy 2008-ban kvótahiány, ezt követően pedig felesleg volt a piacon; mint láttuk, a kvótaárak jól követték a piac változásait.



86. ábra Az EU emissziókereskedelmi hatálya alá eső ágazatoknak juttatott ingyenes kvóták és tényleges CO₂ kibocsátásuk [57]

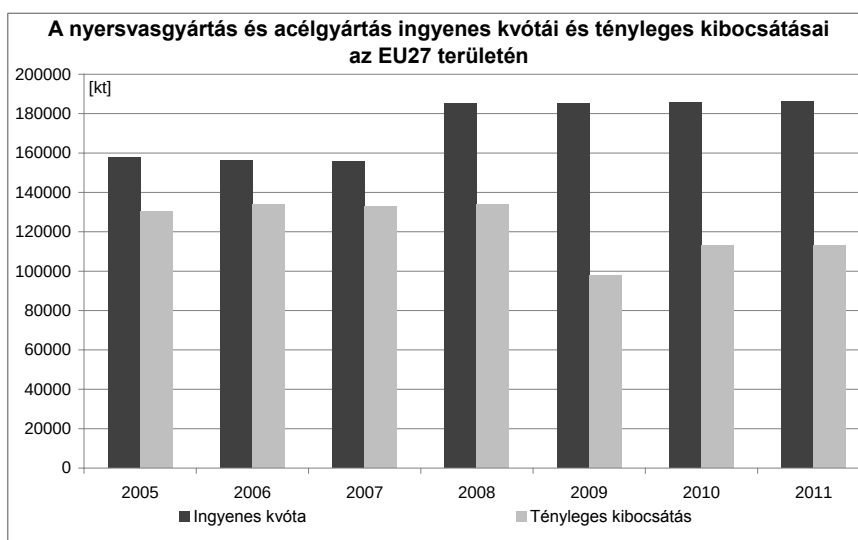
Az emissziókereskedelem időközben igen jó üzletté vált. Az EU emisszió kereskedelmi rendszerének forgalma 2005 és 2011 között évi 12 Mrd €-ról 107 Mrd €-ra nőtt. Az alapelképzelés az volt, hogy a bevételeknek legalább egy részét a kibocsátás csökkentését szolgáló fejlesztésekre fordítják; ennek azonban nem találtuk nyomát.

6.3.3. Az acélipar kibocsátásának alakulása az 1. és 2. kereskedelmi periódus alatt (2005-2011)

Az acélipari vállalatok CO₂ emissziójának számítására különböző módszerek terjedtek el, amelyek nem minden szempontból hoztak összehasonlítható eredményeket. Az Acélipari Világszövetség (World Steel Association) ezért széleskörű gyűjtőmunkát végzett, amelynek eredményeképpen olyan módszert dolgoztak ki, amely alkalmas a tevékenység fajlagos CO₂ kibocsátásának a számítására és az eredmények összehasonlíthatók. Ez a felhasznált energia-hordozók mindegyikéhez CO₂ egyenértéket rendel és az energiahordozók felhasználásából lehet kiszámítani a kibocsátást.

Az acélipar súlya az EU teljes CO₂ kibocsátásában az 1990 évi 3,4 %-ról 2010-ben 2,6 %-ra csökkent. Ez részben a fajlagos kibocsátás csökkenésének, részben pedig annak a következménye, hogy az acélipar teljesítménye ez alatt az időszak alatt az ipar átlagánál kisebb mértékben nőtt.

Az Európai Környezetvédelmi Ügynökség (EEA) gyűjti és összegzi a tagállamok kibocsátását ágazatokra, ezen belül résztechnológiákra lebontva. A 82. ábrán a legnagyobb acélipari kibocsátó technológiacsoport (a nyersvas- és acélgyártás) CO₂ emissziójának és a rendelkezésre bocsátott ingyenes kvótamennyiségnek az alakulását mutatjuk be 2005-2011 között az EU 27 összességére. A diagram jól szemlélteti, hogy az acélipar ügyesen lobbizott: végig jelentős kvótafeleslege volt ezen a területen. Jól látható a tényleges kibocsátás csökkenése a válság hatására visszaeső termelés eredményeként is. A 2012 évi adatok még nem ismertek, de a termelési előrejelzések alapján továbbra is kvótafelesleg várható.



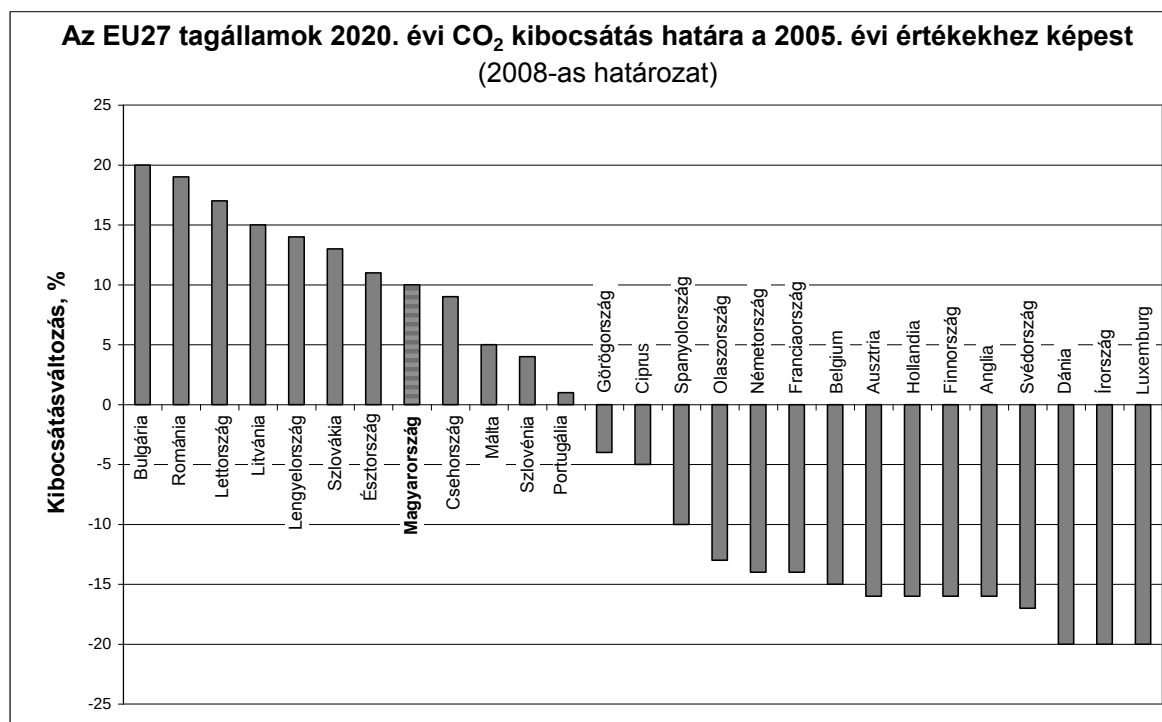
87. ábra A nyersvas- és acélgyártás részére biztosított ingyenes kvóták és a kibocsátott CO₂ mennyisége az EU acéliparában [57]

Összességében megállapítható, hogy az első két kereskedelmi fordulóban az acélipari vállalatok sem hazánkban, sem az EU tagállamok többségében nem szorultak érdemleges kvótavásárlásra.

6.3.4. Az emissziókereskedelem szabályozása 2013-2020 között

Az EU 2008 januárjában tette közzé a 2012-2020-ra vonatkozó (ún. post-Kyoto, Kyoto utáni) első javaslatát, amit azóta több is követett. Ebben az EU egyoldalú kötelezettséget vállalt arra, hogy 2020-ig 1990-hez viszonyítva 20 %-kal csökkenti a kibocsátást és amennyiben megfelelő átfogó nemzetközi megegyezés születik, 30%-os lesz a csökkentés.

A javasolt kiosztás alapjait a 83. ábrán mutatjuk be. Látható, hogy figyelembe vették az új tagországok speciális helyzetét: ezek 2005-höz képest növelhetik a kibocsátást, a többinek viszont jelentős csökkenést kell elérni. Hazánk 10 % növelési lehetőséget kapott.



88. ábra A CO₂ kibocsátás határának változása 2020-ig, a 2005-ös tényleges kibocsátásához képest az EU tagállamokban

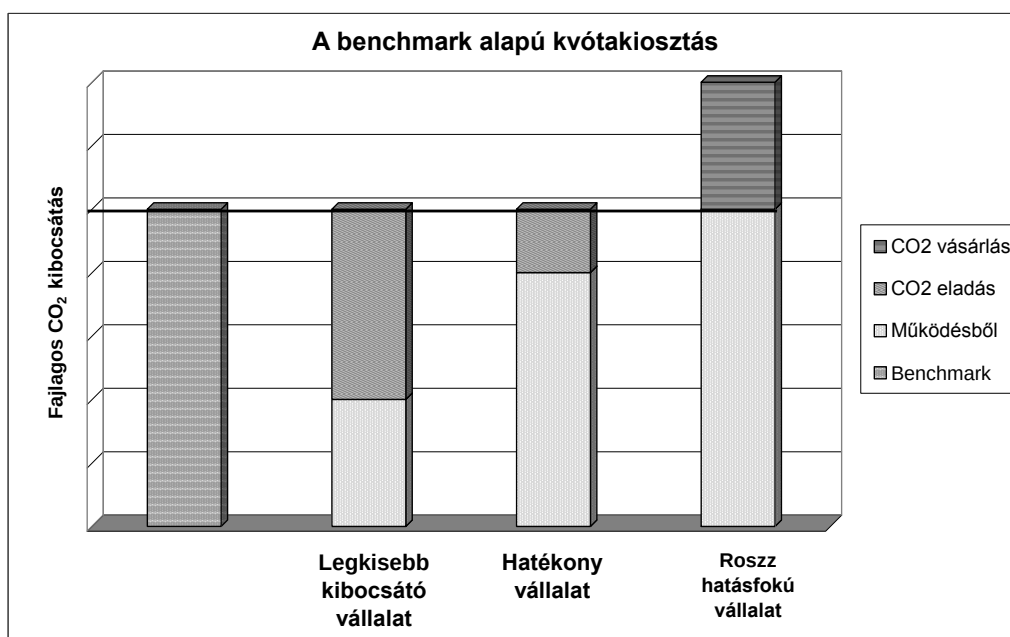
A tervezet szerint 2013-tól a térítésmentes kvótakiosztás a villamosenergia-szektor esetében teljesen megszűnik, és bevonásra kerülhetnek a rendszerbe az eddig mentességet élvező egyes közlekedési ágazatok (a légitözlekedés) is.

Az acélipar számára fontos, hogy az említett dokumentum figyelembe vette az acélipar (és a többi energaintenzív iparág) azon követelését, hogy az ún. C-szivárgás (C-leakage, az ágazat kitelepülése más országokba a nemzetközi versenyképesség romlása miatt) elkerülése céljából ezek az ágazatok speciális elbánásban részesüljenek. A rendelet szerint az érzékeny ágazatok egy később meghatározandó, a legjobb technikákat tükröző fajlagos kibocsátásig (benchmark) ingyenes kvótákhoz jutnának.

Az egyéb ágazatoknál – kivéve az érzékeny iparágakat – 2013-ban 70%-ról indulna az ingyenes kiosztás, ami 2020-ra lineárisan nullára csökkenne. A villamosenergia-szektor szempontjából az új EU tagállamok, köztük Magyarország is 2019-ig derogációt kérhet. A terv szerint az érzékeny ágazatok benchmark alapon 100%-os ingyenes kiosztásban részesülnek. Új meg-

oldás, hogy nem lesznek nemzeti kiosztási tervek, hanem közvetlenül az Európai Unió határozza meg a kiosztás szabályait, amely alapján a tagállamok határozzák meg a mennyiségeket.

Az acélipar számára először elfogadhatónak látszó szabályozásról kiderült, hogy a később kialakított részletek súlyos veszélyeket rejtenek magukban. Először az ingyenes kiosztás alapjául szolgáló benchmark adatok jelezték a veszélyeket. A benchmark alapú kiosztás lényegét a 84. ábrával szemléltetjük. Eszerint a benchmark adatnál kevesebb fajlagos kibocsátású vállalatnál kvóta felesleg, a nagyobb kibocsátónál hiány keletkezik. A benchmark adatot a 10 legkisebb fajlagos kibocsátó átlagával tervezték meghatározni; eszerint a legjobb 5 vállalatnál jelentkezett volna kvóta felesleg, a többinél kvótahiány, ami ösztönzi őket a kibocsátás csökkentésére



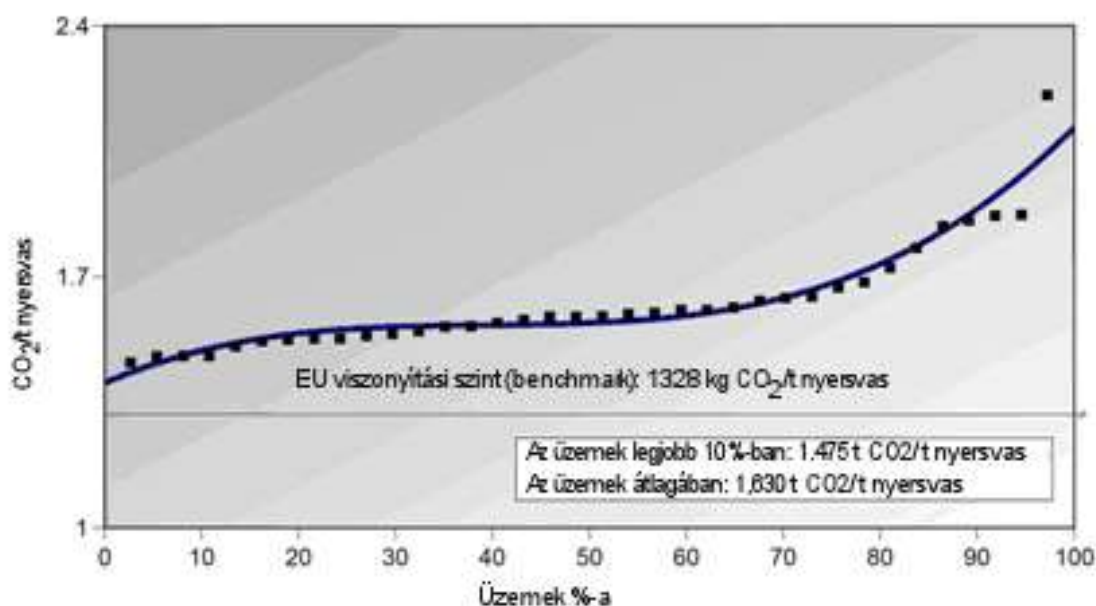
89. ábra A benchmark alapú kvótakiosztás elve

Az Európai Bizottság 2010 októberében tette közzé az alábbi benchmark adatokat (43. táblázat)

43. táblázat Az európai kvótakiosztás 2010-es adatai

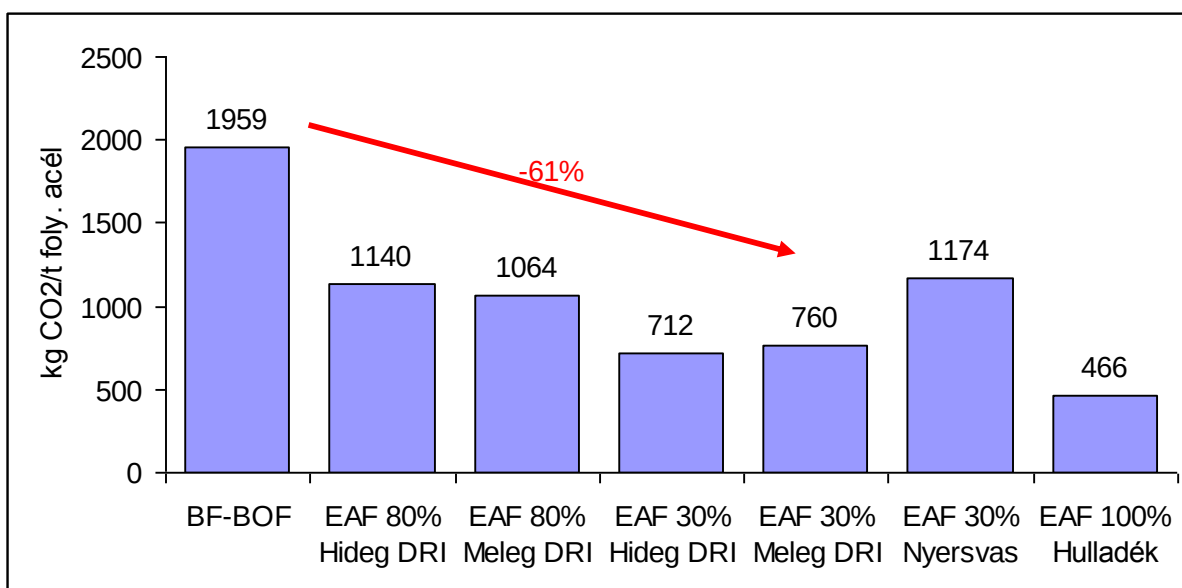
<i>Benchmarkok az acélipar ingyenes kvótáihoz</i>	<i>Az Európai Bizottság javaslata</i>	<i>A legkisebb kibocsátás adatai az EUROFER szerint</i>
Zsugorítmánygyártás	171 kg/t	191 kg/t
Kokszolás	286 kg/t	333 kg/t
Nyersvasgyártás	1328 kg/t	1475 kg/t
Elektroacélgyártás	285 kg/t	285 kg/t

Ezek lényegesen alacsonyabbak az eredetileg meghirdetett célkitűzésnél. Amint a 84. ábra mutatja, legnagyobb kibocsátó, a nyersvasgyártás esetében a legkisebb fajlagos kibocsátónál is lényegesen alacsonyabbak lettek (85. ábra). Az EUROFER emiatt bíróságon támadta meg a Bizottságot; az eredményről még nincs információnk. Ezeket az extrém alacsony benchmark értékeket is évente 1,74%-kal csökkenteni tervezik, hogy 2020-ra elérjék a 20%-os csökkenést.



90. ábra Az Európában működő nagyolvasztók fajlagos kibocsátása az EU benchmark szint-hez viszonyítva [58]

Az acélipar fajlagos CO₂ kibocsátásának legnagyobb része – mint említettük – a vasérc karbonnal történő redukciójából származik. A jelenleg alkalmazott technológiák kibocsátása ezért elsősorban ennek részbeni, vagy teljes kiváltásától remélhető. Az acélipar CO₂ kibocsátásának lényeges csökkentésére ezért ma két út adódik: az acélhulladék arányának növelése, ill. a földgázbázisú direkt redukció alkalmazása. Előbbinél a korábban előállított acélt használjuk betétanyagként, ahol redukcióra már nincs szükség. A direkt redukciónál használt földgáz szénhidrogén-tartalmának a hidrogénje ugyancsak részt vesz a redukcióban, ami csökkenti a karbon részarányát a folyamatban. A 86. ábrán a két véglet (integrált acélgyártás és 100 % hulladékbetétel dolgozó elektrokemence) közötti átmeneteket is bemutatva a fajlagos CO₂ kibocsátás változását szemléltetjük. Ennek tükrében egyértelmű, hogy a klímavédelmi intézkedések a hulladékarány növelésére ösztönzik az acélipart; ennek azonban az acélhulladék elérhetősége korlátokat szab (a régi hulladék mennyisége az acélipar korábbi teljesítményének függvénye, ami évtizedekkel korábban sokkal kisebb volt a mainál). A különböző arányban adagolt direkt redukált termékek szintén jelentős csökkenést eredményeznek.



91. ábra Az acélipar fajlagos CO₂ kibocsátása különböző betétanyag-arányoknál

A villamosenergia-termelés kivonása a kedvezményezett érzékeny iparágak közül közvetve jelent veszélyt az acéliparra. Az árampiac jellegzetessége ugyanis, hogy nincs egységes EU piac, nincs nemzetközi verseny és az ellátási biztonság teljesítése mindent felülír. Emiatt a villamos energia árát a legnagyobb költséggel dolgozó erőművek adottságaihoz igazítják (mert rájuk is szükség van) és a kvótavásárlásból eredő többletköltségeket a fogyasztókra háríthatják.

Az acélipar a nagy villamosenergia-fogyasztók közé tartozik (az elektroacélművek különösen). Az energiaiintenzív ágazatok erőteljes lobbitevékenységet indítottak a villamos energia árnövekedésének kompenzálására; úgy tűnik, ez is sikerrel járt. A Bizottság javaslata szerint az érintett ágazatok többlet költségeit állami támogatással lehet majd kompenzálni (ez lenne az első kivétel az acélipar állami támogatásának szigorú tilalma alól). Már készülnek a támogatás módszerének, feltételrendszerének részleteit tartalmazó dokumentumok. Nagy kérdés, hogy az állami támogatás kötelező lesz, vagy a kormányzatok fognak dönteni a lehetőség kihasználásáról.

Az Európai Bizottság a 2008-ban közzétett rendszeren az azóta bekövetkezett fejlemények figyelembe vételével változtatni kíván. A válság hatására ugyanis jelentősen visszaesett az acélipar termelése és az előrejelzések szerint 2020-ban sem éri el a 2007-2008-as szintet. Valószínű ezért, hogy az eredeti (2005-höz képest 20%-os csökkenés) célkitűzést az acélipar különösebb erőfeszítés nélkül teljesíteni tudja. Várható az is, hogy a CO₂ egységára emiatt alacsony szinten marad, így kicsiny lesz a csökkentést ösztönző hatása (vö. 79. ábra).

A Bizottság két javaslatot tett közzé fenti fejlemények ellensúlyozására:

- a 20% helyett 30 % csökkentés
- a kreditek egy részének visszatartása.

Természetes, hogy az energiaiintenzív ágazatok és az EUROFER keményen támadja mindkét elképzelést. A 30%-os kibocsátás csökkentés elemzők szerint évi ~18 Mrd € beruházási többletet és 7 Mrd € értékű kvótavásárlási többletet jelentene az érintett iparágakban, azaz jelentősen rontaná a versenyképességet.

A kreditek egy részének ideiglenes visszatartásával (backloading) a CO₂ egységárát kívánja magas szinten stabilizálni a Bizottság, így ösztönözve a kibocsátás csökkentést. Az elképzelés szerint a visszatartott krediteket később kiosztanák, ha a CO₂ ára túlságosan magas lenne.

Az EUROFER (és a többi energaintenzív ágazat érdekképviselője) azért támadja ezeket a megoldásokat, mert kizárólag „büntetéssel” (a költségek növelésével) próbálják a vállalatokat rávenni a kibocsátás csökkentésére. Ez az EU tagországok többségének jelenlegi gazdasági helyzetét figyelembe véve súlyosan veszélyezteti a versenyképességet, végső soron a vállalatok életképességét. Az Európai Parlament a jegyzet írásának idején tárgyalta a 2008-as ETS rendszer módosítására vonatkozó javaslatot, amit végül kis különbséggel elutasított. Minden jel arra mutat azonban, hogy az ügy nem marad ennyiben és valamilyen korrekciót ki fognak erőltetni az érdekeltek (a zöldek és az emissziókereskedelem haszonélvezői).

Az EU emissziókereskedelem rendszerének legnagyobb, máig megoldatlan problémája, hogy nem globális, így a 2014-től bizonyosan fellépő kvótavásárlásból eredő többletköltség rontja az érintett ágazatok – köztük az acélipar – versenyképességét. Márpedig a nyersacél fajlagos kokszfelhasználása és ebből következőleg a fajlagos CO₂ kibocsátása több, jelentős acélexportot lebonyolító országban jóval nagyobb, mint az EU-ban. Ha az EU-ban működő vállalatok emiatt elvesztik versenyképességüket és termelésüket a kevésbé energiahatékony kohászattal rendelkező országok veszik át, globális szinten nőni fog a kibocsátás, azaz az eredmény ellentétes lesz a céllal.

6.3.5. Az EU dekarbonizációs útvonala és az acélipar

Az ENSZ Éghajlatváltozási Kormányközi Testület (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 2007-ben közzétett Negyedik Értékelő Jelentése szerint *az üvegházhatású gázok globális kibocsátását 2050-re az 1990-es érték 50%-ára kell csökkenteni ahhoz, hogy a földi átlaghőmérséklet emelkedése ne haladja meg a kritikus határnak tartott 2 °C-os mértéket*. Ezt meghaladó mértékű melegedés esetén ugrásszerűen megnő a visszafordíthatatlan klímaváltozás bekövetkezésének esélye. Az éghajlatváltozással kapcsolatos nemzetközi megállapodásokkal összhangban ennek a célnak az elérése érdekében a fejlődő országoknak kisebb, a fejlett országoknak viszont nagyobb terhet kell(ene) vállalniuk.

Az Európai Bizottság ezzel összhangban fogadta el 2011. március 8-án a 2050-ig tartó dekarbonizációs útitervét, amelynek keretében ***az Unió 1990-hez képest 2050-ig 80%-os emisszió-csökkentésre vonatkozóan vázol fel kibocsátás-csökkentési pályákat*** és nevez meg ágazatonkénti – nem kötelező, indikatív – célértékeket [59]. Az acéliparban ma kizárólag a hulladékbázisú acélgyártással lehetne ilyen eredményt elérni, ez azonban az acélhulladék elérhetőségének korlátai miatt nem járható út.

A várható fejlemények ismeretében a fejlett országokban már korábban intenzív K+F tevékenység indult meg új, áttörést hozó (breakthrough) technológiák kidolgozására. Az EU-ban az ULCOS (Ultra Low Carbon Steelmaking) projekt keretében vizsgálták meg a lehetőségeket. Az elvi megoldások a következők:

- *biomasszára alapozott nyersvasgyártás*. Ez lényegében visszatérést jelentene a 19. sz. közepéig alkalmazott faszenes nyersvasgyártáshoz. A növények növekedésük során CO₂-t vonnak ki a levegőből; a faszenes redukció során ez kerülne vissza a légkörbe. Brazíliában, az Amazonas vidékén, ahol a vegetáció gyorsan nő, azaz a kivágott fák

helyett rövid idő alatt újak nőnek, működik ilyen nagyolvasztó. Európában azonban nincs rá lehetőség.

- *Földgáz bázisú acélgyártás*, lényegében DRI alapú elektroacélgyártás. Ott lehet gazdaságos, ahol a földgáz olcsón elérhető. Mexikóban és Iránban, továbbá néhány más országban sikerrel használják, Európában ma nem ítélik perspektivikus megoldásnak. Az USA-ban az olcsó palagáz megjelenése következtében várható ennek a megoldásnak a terjedése.
- *Nyersvasgyártás elektrolízissel*. Az Al-kohászathoz hasonló megoldás lenne. Bár a közvetlen CO₂ kibocsátása kedvező, a felhasznált nagy mennyiségű villamos energia ára és az előállítás során kibocsátott CO₂ miatt jelenleg nem tűnik gazdaságos megoldásnak.
- *Hidrogén-bázisú nyersvasgyártás*. A vasoxidok redukcióját szén helyett hidrogénnel biztosítanák. A keletkező reakciótermék vízgőz, aminek ugyan még a CO₂-nél is erősebb az üvegházhatása, de gyorsan eltávozik a légkörből. Itt hasonló a probléma az előző változathoz: a hidrogén előállításához szükséges energia és CO₂ kibocsátás igen jelentős.
- *A hagyományos nyersvasgyártás fejlesztése az alábbi két módon:*
 - *a torokgáz hőjének kihasználása a fűvólevegő előmelegítésére*
 - *a keletkező CO₂ leválasztása és földalatti raktározása (CCS)*

A felsorolt megoldások közül a legutóbbi a leginkább ígéretes kísérleti megvalósítására folynak az előkészületek [61]

6.4 Életciklus elemzések (LCA)

Az acélipart – és vele együtt termékét, az acélt – sokan még ma is elavult iparágnak, az ipari forradalom termékének tekintik: veszélyes, környezetterhelő, „energiafaló” és ezért nagy CO₂ kibocsátó tevékenység, a hadiipar egyik meghatározó anyaga, az elhasznált termékek rozsdásodó darabjai károsítják és esztétikailag zavarják a természetet. Ezt a negatív képet az elmúlt évtizedekben tovább rontották az acélipar válságai, amelyek Európában gyárbezárásokat, elbocsátásokat eredményeztek.

A vádak egy része könnyen cáfolható: az acélhulladék ma értékes betétanyag, amelynek leginkább a hiánya okoz néha problémát; az acélipar környezetterhelése – mint láttuk – töredékére csökkent, a termelési kultúra alapvetően megváltozott: uralkodóvá váltak a folyamatszabályozás korszerű eszközei, stb. Az 1970-es 80-as években már sokat beszéltek a vaskor végétől, azt jósolva, hogy az acél helyét fokozatosan átveszik a korszerű szerkezeti anyagok (kompozitok, műanyagok, kerámiák). A cáfolat hamar megérkezett: a világ acélfelhasználása az ezredfordulón korábban soha nem tapasztalt mértékben kezdett nőni és semmi jel nem mutat arra, hogy helyét az iparban, az élet legkülönbözőbb területein bármi is komolyan veszélyeztetné.

Az acélipar és az acélipari szakemberek számára egyaránt fontos, hogy a megmaradt előítéletek (elsősorban a nagy környezetterhelés és CO₂ kibocsátás) jogosságát tényszerű, objektív adatokkal cáfoljuk. Erre a célra igen jó eszköz lehet az életciklus szemlélet alkalmazása. Ennek lényege, hogy egy anyag (gép, eszköz) környezet- és klímaterhelésének megítélésénél a vizsgálatokat ne korlátozzák az alapanyag előállítására, hanem a teljes életciklust elemezzék: a gyártáshoz szükséges nyersanyagok kitermelésétől a szóbanforgó termék előállításán, feldolgozásán és a használata során keletkező környezet- és klímaterhelést, ill. az elhasználandó termékekkel kapcsolatos további teendőket is vegyék figyelembe

Az életciklus vizsgálatok eredményét és felhasználhatóságát jelentős mértékben befolyásolja a vizsgálat módszere. Az egységesítés, összehasonlíthatóság biztosítása érdekében ISO szabványokat dolgoztak ki, amelyek meghatározzák a metodikai lehetőségeket és a vizsgálatok eredményeinek értékelését:



ISO 14040: 2006 – Környezetirányítás – életciklusvizsgálatok- alapelvek



ISO 14044: 2006 – Környezetirányítás – életciklusvizsgálatok – követelmények és irányelvek

Az Acélipari Világszövetség (World Steel Association) állt az élére az acélipari életciklus-vizsgálatok szervezésének, metodikai egységesítésének és értékelésének. Módszerükben különösen fontos, hogy az acélművekben alkalmazott eljárások értékelésénél nem csak az adott művelet energia szükségletét, hanem a keletkezett melléktermékek felhasználása által elérhető energia megtakarítást is figyelembe veszik. Ugyanígy járnak el az elhasznált acéltermékekből keletkező hulladék esetében is; itt a felhasznált vasmennyiség előállításához szükséges energiaigénnyel csökkentik az összes energiaigényt.. Ennek eredményeképpen esetenként lényegesen kisebb lesz a nettó energiaigény (és a CO₂ kibocsátás), mintha csak az adott technológia direkt energiafelhasználását vették volna alapul [62]

A közelmúltban ennél is tovább mentek az elemzések: azt vizsgálták, hogy a korszerű acéltermékek alkalmazásával más ágazatokban milyen mértékben csökkenthető az energiaigény/CO₂ kibocsátás [63]. Különböző termékek esetében teljes életciklusukra vonatkoztatva végezték el a számításokat. Figyelembe vették a korszerű acéltermékek gyártásának energiaigényét és azt az energia megtakarítást, amit a korszerű acélok alkalmazása eredményez a vizsgált acéltermék használatának végéig a hagyományos acéltermék használatához képest. A vizsgálatokhoz 8 terméket választottak ki.

Az eredmények nagyon figyelemre méltók. A 8 termék közül 5 az energiaiparhoz köthető (fosszilis és szélenergia, egyéb megújuló energiatermelés, hatékony transzformátorok, hatékony elektromotorok), kettő közlekedési szállítási eszköz, egy pedig kombinált fűtő- és energiatermelő mű. A korszerű acéltípusok alkalmazásával elérhető energiaigény csökkenés valamennyi esetben nagyobb (esetenként többszöröse), mint az acéltermék előállításának energia igénye. Különösen nagy a különbség hőerőművek esetében, ahol a korszerű acélok alkalmazásával jelentősen növelhető az üzemelési hőmérséklet, az erőművek hatásfoka pedig annál jobb, minél nagyobb a gőzhőmérséklet.

Hasonló elemzéseket végeztek gépkocsikra. Különbséget tettek a gépkocsik energiaigényében a jármű súlyától függő tételek (elsősorban a gyorsítás, továbbá a súrlódás, gördülő ellenállás) és az attól független tételek (légellenállás, áttételek hatásfoka, segédberendezések) között. Két Toyota Venza gépkocsit vizsgáltak; az egyik fő elemei nagyszilárdságú acélból, a másiké kis fajsúlyú szerkezeti anyagból (pl. Al, műanyag) készültek. Azt találták, hogy mind 11, mind 16 év életciklust feltételezve a nagyszilárdságú acél alkalmazása eredményezett összességében kisebb CO₂ kibocsátást. A 87. ábrával azt szemléltetjük, hogy amennyiben az Európa útjain használt járművek mindegyike nagyszilárdságú acélból készülne, évente 8000 ktonnával kisebb lenne a CO₂ kibocsátás és 28500 GWh-val kevesebb lenne az energiaigény (üzemanyag felhasználás).



92. ábra Nagyszilárdságú acélok használatának hatása Európa járműállományának CO₂ kibocsátására és energiaigényére [66]

Ezen jegyzet írása idején Brüsszelben arról folyt a vita, hogy a jövőben az új gépkocsik energetikai besorolásánál a közvetlen üzemanyagigény helyett a teljes életciklusra vonatkoztatott energiaigényt és CO₂ kibocsátást vegyék alapul. Legújabb információink szerint az utóbbi változatot szavazta meg az Európai Parlament, ami az acélipar számára jelentős eredmény, mert versenyelőnyt hozhat a járműipar területén az acélipar számára.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Kiss L: Vázlatok a diósgyőri kohászkodás 225 éves történetéből III. Az utolsó ötven év, a második világháborútól napjainkig. BKL. Kohászat. 1997. 5. sz.
- [2] Marjasné Endrédi Zs. – Kiss L. A minőségi- és nemesacélgyártás aktuális kérdései a Borsodi Nemesacél Acélgyártó Kft. viszonyai között. BKL. Kohászat. 134. évf. 2004/1. szám.
- [3]. Káldor M: Fizikai metallurgia. Műszaki Könyvkiadó, Budapest. 1990.
- [4] Verő J – Káldor M: A vasötvözetek tana. Tankönyv Kiadó. Budapest. 1963.
- [5] Szabó Ö.: A vas- és acélipar gyakorlati metallográfiája. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1968.
- [6] Internet: <http://vilimpmmf.hu/anyagismeret> 4.
- [7] Komócsin M.: Gépipari Anyagismeret. COCOM Mérnökiroda. Miskolc. 1998.
- [8] Jung J- Kiss L– Sélei L– Sziklavári I: A diósgyőri acélgyártás története a folytacélgyártás bevezetésétől napjainkig. Tanulmányok Diósgyőr történetéhez. Miskolc, BAZ Megyei Levéltárért Alapítvány Könyvkiadó. 1994.
- [9] Kiss Cs: A felrakó hegesztés legújabb módszerei. XI. Nemzetközi és IV. GTE-MHtEDVS Hegesztési konferencia, Budapest, 2004.08.25.
- [10] MSZ EN DIN 10020 szabvány
- [11] Károly Gy: Az acélmetallurgia alapjai. Digitális jegyzet. Miskolci Egyetem, 2013
- [12] Tardy P– Károly Gy: Új acélgyártó eljárások: technológiák, lehetőségek és korlátok. Kézirat. Budapest, 1997.
- [13] Károly Gy-Józsa R: Konverteres acélgyártás. Digitális jegyzet. Miskolci Egyetem, 2013
- [14] Károly Gy- Kiss L- Harcsik B: Elektroacélgyártás. Digitális jegyzet. Miskolci Egyetem, 2013.
- [15] Károly Gy – Kiss L – Károly Z: Acélok üstmetallurgiai kezelése. Digitális jegyzet. Miskolci Egyetem, 2013.
- [16] Domanovszky S.: Az acélepítészet legújabb irányzatai a hegesztés tükrében. Hegesztés technika. XIX. Évfolyam 2008. 3. szám.
- [17] Paul WursthS.H. 1022. Luxemburg. Stahl und Eisen. 2012. febr. 132. Nr. 2.

- [18] Brücken aus Stahl: Langste Fußgänger- Bogenbrücke der Welt eingeweiht. Stahl und Eisen. 2007. 127. Nr.8.
- [19] S. Kampf: Automobil Leichtbau mit Stahl ökologisch und ökonomisch vorn. Stahl und Eisen. 2011. 131.Nr.11.
- [20] Korchinsky, M : Processing, Microstructure and Properties of HSLA Steels, The Minerals, Metals and Materials Society, 1988. p.169
- [21] Horváth Á-Szabó Z.: A gyártástechnológiák fejlődése a Dunai Vasműben az első 60 év alatt. ISD. DUNAFERR: Műszaki Gazdasági Közlemények. 2011. 2. sz.
- [22] Kiss L.: Az UHP ívkemencék üze. BKL. Kohászat. 1979. 112. évf. 5. sz.
- [23] Br°Ckhaus kiadvány. Brockhaus Söhne GmbH. Plettenberg.
- [24] MAN GUTEHOFFNUNGS HÜTTE kiadvány. Munich, 1991. august
- [25] Bórral mikroötvözött acélok metallurgiai, fémteni és minősítési jellegzetességeinek kutatása. Miskolci Egyetem. Mechanikai Technológiai Tanszék. Miskolc, 1990.
- [26] Sharam Sheikhi, Ralf Rech, Franz-Josef Wahlers, Dieter Bokelmann und Carl.Dieter Wuppermann: Fortschritte beim Freiformschmieden in den letzten 25 Jahren. Stahl und Eisen 2010.130. Nr. 1.
- [27] Franz-Josef Wahlers, Bodo Gehrman und Hans Peter Jaeger: Stand der Entwicklung von Schmiedeteilen aus Ni-Legierungen für die Luftfahrtindustrie. 2011. Stahl und Eisen.131. Nr. 5
- [28] Kiss Cs.: A hazai sínek gyártásának áttekintése és a fejlesztési irányzatok mérlegelése. BKL. Kohászat. 1992. 125. évf. 6. sz.
- [29] Kiss Cs.: Dinamikus igénybevételnek fokozottan ellenálló sínek kifejlesztése. Doktori értekezés. Miskolci Egyetem. 1994.
- [30] Szöke L.: A nagyvasúti sínek előállításának néhány kérdése a szabványok tükrében. BKL. Kohászat. 1990.123 évf.
- [31] Tolnay L.-Kiss L.: Igen kis karbontartalmú korrózióálló acélok gyártása VOD eljárással a Lenin Kohászati Művekben. BKL. Kohászat. 1984. 117. évf.2. sz.
- [32] Éles L-Szöke L.: Minőségi és nemesacélok. Műszaki Könyvkiadó, Budapest,1981.
- [33] Neue Stähle steigern Wirkungsgrad fossil befeuerter Kraftwerke. Stahl und Eisen. 131 (2011) Nr.1.
- [34] Kiss L.-Nyitray D.: Erősen ötvözött hidegalakító szerszámacélok folyamatos öntésének hazai tapasztalatai. Folyamatos öntő Szimpózium. Miskolc. 1987. szept. 30.

- [35] Kiss L.-Nyitrai D.: Szerszám és gyorsacélgyártás tovább élése Diósgyőrött. MEGISTONACÉL EMLÉKÜLÉS. Miskolc, 1991. máj. 31.
- [36] Kiss L.: Gyorsacélgyártás kritikai vizsgálata. OMBKE. Szeminárium és Kiállítás. Diósgyőr. 1989. szept. 26.
- [37] Szőnyi G.-Sárvári I.: Gyorsacélok elektrosalakos átolvasztásának tapasztalatai. VASKUT Közlemények. 1986. Budapest.
- [38] Nagytisztaságú acéltermékek gyártástechnológiájának javítása. OMBKE. Budapest, 1989. Kutatási jelentés.
- [39] A csapágyacélok gyártástechnológiájának továbbfejlesztése az egymelegből való készrehengerlés alkalmazásával. Miskolci Egyetem Vaskohászattani Tanszék. 2000. Kutatási jelentés.
- [40] Kis L.-Tolnay L.: Csapágyacélok vákuumozásával elért eredmények. IUVSTA Vákuummetallurgiai Divízió. III. Ülés. Miskolc, 1984.
- [41] DIN 17230. szabvány
- [42] MVM Paksi Atomerőmű Honlapja
- [43] Kiss László - Istenes István: ISO 9000 szabványsorozat szerinti minőségbiztosítási rendszer bevezetésének gyakorlati elemei. Jegyzet, Miskolc, DIMAG Rt. 1993.
- [44] MSZ EN ISO 9001-2009-es szabványsorozat.
- [45] MSZ EN ISO 8402-2009-es szabvány
- [46] Hubert Preissl-Cristian Koberger- Thorwald Fastner: CAQC. microCAD '90. Miskolci Egyetem. 1990.
- [47] az Európai Bizottság Seville-ben működő kutatóközpontja által kiadott *acélipari BAT-dokumentumok* (környezetvédelem)
http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/IS_Adopted_03_2012.pdf
- [48] az USA-ban működő *The Institute for Industrial Productivity* adatbázisa (energiafelhasználás).
<http://www.ietd.iipnetwork.org>.
- [49]. Draft Reference Document on Best Available Techniques for Iron and Steel Production EC DG JRC Sustainable Production and Consumption Unit European IPPC Bureau, Seville, 2012
- [50] Ressourceneffizienz – gute Argumente für Stahl
Stahlinstitut VDEh 2007
- [51] Fakten zur Stahlindustrie
Stahlinstitut VDEh, November 2012, Düsseldorf

- [52] Ekdahl, A., Regtuit, H.: Water management in a sustainable steel industry
Proc. 2nd Int. Conf. on Clean Technologies in the Steel Industry, Budapest, 2011
- [53] Endemann, G. Lungen, H.-B: Recycling and closed material circles in the steel
Industry
Proc. 2nd Int. Conf. on Clean Technologies in the Steel Industry, Budapest, 2011
- [54] Bettinger, D.: Energy efficiency in Iron and Steelmaking
Int. Conf. Partnering for Sustainable Innovation through Chemistry, Brussels, 2012
www.suschem.org/.../20120425135024-dieter_bettinger
- [55] Jahrbuch Stahl 2013, Band 1. Stahleisen Communications, Düsseldorf, 2013
- [56] Nemzeti éghajlatváltozási stratégia 2008-2025
www.kormany.hu/download/9/67/10000/NÉS_2008-2025.pdf
- [57] Európai Környezetvédelmi Ügynökség honlapja
www.eea.europa.eu/hu
- [58] A Steel Roadmap for a Low Carbon Europe 2050, EUROFER, 2013
- [59] Pardo, N. Moya, J.A. Vatopoulos, K.: Prospective Scenarios on Energy Efficiency and
CO₂ Emissions in the EU Iron and Steel Industry
JRC Scientific and Policy Reports, 2012
- [60] Az alacsony szén-dioxid-kibocsátású, versenyképes gazdaság 2050-ig történő megvalósításának ütemterve, COM (2011) 112, Brüsszel, 2011
- [61] Tardy, P. Az EU klímapolitikája és a vaskohászat
Dunaferr Műszaki Közlemények, 2013
- [62] Newman, J.: Energy Efficiency Policy and the Iron and Steel Industry 2012
OECD Steel Committee, Paris, 2012
- [63] Broadbent, C.: The recyclability of steel and its benefits in LCA
Proc. 2nd Int. Conf. on Clean Technologies in the Steel Industry, Budapest, 2011
- [64] Endemann, G., Still G.: A tool to underline the need for steel: technical studies
Proc. 2nd Int. Conf. on Clean Technologies in the Steel Industry, Budapest, 2011
- [65] Steel's CO₂ Balance The Steel Industry's Contribution to Climate Protection
The Boston Consulting Group, 2010
- [66] Wuppermann, C.-D.: Herausforderungen für die Stahlindustrie in der EU 27
A fenntartható fejlődés feltételei az európai bányászatban és kohászatban c. konferencia, Pécs, 2010
- [67] Szőke L: Az acél kihívásai a Weiss Manfred Műveknél, BKL Kohászat, 2000. 2.sz.