

Kísérleti gyártás DP- és TRIP-acélok hazai bevezetésére

Lőrinczi József¹, Szabados Ottó¹, Szabó Zoltán¹, Zsámbók Dénes¹, Verő Balázs²,
Dobránszky János³, Hirka József⁴

¹DUNAFERR Rt. - Innovációs Menedzsment

²Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Alapítvány Bay Zoltán Anyagtudományi és Technológiai Intézete

³Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gépészmérnöki Kar Anyagtudomány és Technológia Tanszék

⁴SILCO Minőségi Acéltermékek Rt.

1. Bevezetés

Az acélfeldolgozók ill. -felhasználók, különösen az olyan iparágak, amelyek az acélgyártási fejlesztések motorjának tekinthetők, mint a gépkocsigyártó, vagy az építőipar minőségi igényei folyamatosan egyre jobb teljesítőképességű acélcsoportok kifejlesztését indukálják. Az acélgyártóknak így tudományos igénygel megalapozott műszaki megoldásokkal folyamatosan, korszerű és célszerű gyártástechnológiai eljárásokat kell kimunkálniuk.

A 80-as évek elejéig jellemző volt, hogy a tulajdonságok közül csak a szilárdság és a szívósság együttes növelését tartották szem előtt. A szilárdság növelésével a többi jellemző (alakíthatóság, nyúlás stb.) általában kedvezőtlen irányban változott. Ebben a tekintetben előrelépést jelenthet a kettős fázisú, illetve a többes fázisú acélok kifejlesztése. Ezek az acélok a tömegcsökkenés mellett még kiegészítő előnyöket is biztosítanak, többek közt azt, hogy kiváló alakíthatóságuknak köszönhetően feldolgozhatóságuk megközelíti a lágyacélokét. A nagyszilárdságú és jól alakítható acélok néhány változatának kifejlesztése érdekében hazai együttműködéssel és kormányzati támogatással K+F projekt indult „Új generációs, nagy hozzáadott értékű, többes fázisú acélok az életminőség szolgálatában” címmel. A kutató-fejlesztő munkát a Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Alapítvány Anyagtudományi és Technológiai Intézete (BAYATI) koordinálja több hazai intézmény: – DUNAFERR Rt., Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gépészmérnöki Kar Anyagtudomány és Technológia Tanszék (BME), SILCO Minőségi Acéltermékek Rt. (SILCO) – konzorciális közreműködésével.

A támogatott finanszírozású K+F projekt tervezett célja DP- illetve TRIP-acélminőségnek megfelelő, a DUNAFERR vállalat-csoportnál gyártott alapanyagból – ipari továbbfeldolgozásra alkalmas – széles- és keskenyszalagok előállítására. Fő feladata olyan acélok kifejlesztése, melyek alakíthatósága a nagy szilárdság ellenére jó, keményedőképességük a hagyományos mikroötvözött acélokét meghaladja, és ezáltal olyan teherviselő szerkezetekben alkalmazhatók, ahol a biztonsági tartaléknak kiemelkedő jelentősége van.

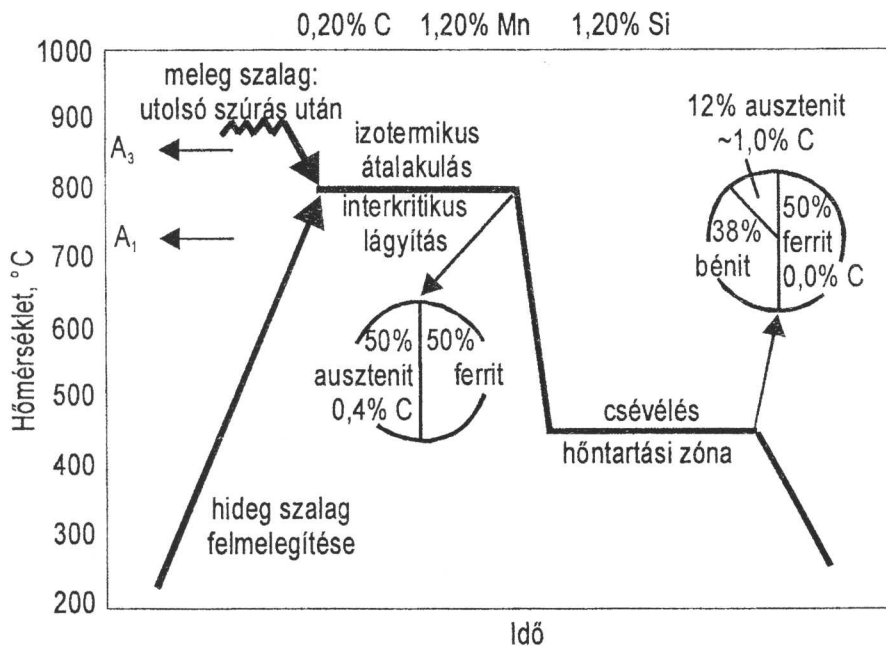
A többes fázisú (MP) acélok fő jellegzetessége, hogy az acél szövete – adekvát technológiai megoldások alkalmazásával – előre meghatározott minőségű, mennyiségű és

eloszlású fázisból, szövetelemből építhető fel. Ezek a következők lehetnek: ferrit, alsó és felső bénit, martenzit, maradék ausztenit.

A következőkben röviden ismertetjük a többes fázisú acélok két fontosabb válfaját.

A DP-acélokra a ferrit + martenzites, vagy esetleg a ferrit + bénit + martenzites szövet a jellemző. Vastagabb szalagok esetén a szabályozott hőmérsékletvezetésű meleghegerléshez kapcsolódó szabályozott hűtéssel elérhető az ilyen szövetszerkezet. Vékonyabb szalagok esetén – éppen a kívánt tulajdonságok szavatolása érdekében – csak az interkritikus lágyítás (hőntartás az A_{C3} hőmérséklet közelében, a ferrit-ausztenit mezőben) és az azt követő gyors hűtés jöhet szóba.

A TRIP-acélokra a ferrit + bénit + maradék ausztenitből álló szövet a jellemző. Ilyen többes fázisú szövetet az interkritikus lágyítás hőmérsékletéről végzett lépcsős lehűtéssel érhetünk el. A szövetben viszonylag nagy mennyiségű maradék ausztenit van jelen. Ha a maradék ausztenit nem nagy stabilitású, akkor a képlékeny deformáció során allotróp átalakulás következik be, és részben vagy teljesen martenzitté alakul át. Az átalakulás jelentős keményedéssel jár együtt. Az átalakulás okozta alakíthatósághoz és egyben felkeményedéshez az szükséges, hogy a termék szövetében jelentős mennyiségű, szobahőmérsékleten is stabil ausztenit legyen. Az ausztenit stabilizálásának legolcsóbb módja, ha benne a karbon feldúsul. Az 1. ábra azokat a gyártási feltételeket mutatja, melyekkel 0,2%-os C-tartalmú acélban szobahőmérsékleten 12% maradék ausztenit biztosítható.



1. ábra
TRIP-hatást mutató tekercs és lemez gyártási útvonala

Ilyen acéltermékek vagy interkritikus lágyítással vagy a meleghegerlést követő speciális lehűtéssel gyárthatók. A két lépcsős hőkezelési folyamat céljára kiválóan alkal-

mas mind leghengers. Az auszter kétfázisú t izotermás átalakulás stabilizáló tartalmán mennyisé jellemzőe

A gyárta létrehoz ra, az op gyártás a A követl ti gyártá

2. I

A nagy tóriumi 50 kg t A kísé gyárth valam A leg: talma:

Acél fajta
DF
TR

mas mind a megeresztő egységgel ellátott folyamatos lágyítósor, mind az olyan megleghengersor, ahol a tekerics hőntartása biztosítható.

Az ausztenit karbonban való feldúsulása elsősorban az interkritikus lágyítás során a kétfázisú tartományban zajlik le. Ezt egy másodlagos C-dúsulás követi, amely egy izotermás fázisátalakulás során következik be az ausztenit egy részének bénitté való átalakulása következtében. Az így megvalósított szövet Si-nak és más hasonló ferritet stabilizáló elemek jelenlétének az eredménye, amelyek hozzájárulnak az ausztenit C-tartalmának növekedéséhez a részleges bénites átalakulás során. A maradék ausztenit mennyiségének növekedését okozza az átalakulási hőmérséklet csökkenése révén a jellemzően 1,2% Mn-tartalom is.

A gyártandó acélok minőségeinek kidolgozása céljából a projekt megvalósítására létrehozott konzorcium, a nagyüzemi próbagyártás egyes kezdeti lépéseinek kiváltására, az optimális vegyi összetételű és gyártástechnológiájú anyagminőségeket kísérleti gyártás alapján tervezte megállapítani.

A következőkben bemutatjuk a konzorcium által megtervezett és lebonyolított kísérleti gyártás fontosabb lépéseit és az elért eredményeket.

2. Kísérleti gyártási adatok és a vizsgálatok lefolytatása

A nagyüzemi kísérletek paramétereinek megbízható kijelölése érdekében laboratóriumi körülmények között két – egyenként 50 kg tömegű – DP- és öt – egyenként 50 kg tömegű – TRIP-adag került legyártásra.

A kísérleti DP- és TRIP-acélokat felhasználói igény és a DUNAFERR-ben való gyárthatósági alkalmasság szempontjai szerint, a vegyi összetételt irodalmi adatokból, valamint külföldön gyártott hasonló acélok hazai vizsgálatai alapján választottuk meg. A legyártott hidegen hengerelt keskenyszalagok vegyi összetételét az 1. táblázat tartalmazza.

Acél-fajta	Próba-test jele	Összetétel, %										
		C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Al	Nb	Mo	V
DP	62B	0,17	1,18	0,45	0,006	0,094	0,12	0,08	0,009	<0,004	0,12	0,006
	72B	0,11	1,17	0,18	0,006	0,045	0,05	0,05	0,010	<0,004	0,038	0,075
TRIP	12B	0,22	1,74	1,46	0,004	0,028	0,14	0,10	0,025	-	0,012	0,006
	22B	0,22	1,78	1,44	0,004	0,028	0,15	0,10	0,024	0,029	0,013	0,008
	32B	0,18	1,83	0,55	0,004	0,124	0,08	0,07	0,78	-	0,018	0,004
	42B	0,22	1,86	0,46	0,004	0,136	0,16	0,11	1,18	0,005	0,027	0,005
	52B	0,19	1,46	1,31	0,007	0,028	0,13	0,07	0,019	0,042	0,167	0,008

1. táblázat
Kémiai elemzési eredmények

DP-acélok változatai:

- molibdénnel mikroötvözött (62-es jelű),
- jól tűzihorganyozható, kisebb Si-tartalmú, vanádiummal mikroötvözött (72-es jelű).

TRIP-acélok változatai:

- - növelt Si-tartalmú, alumíniummal csillapított (12-es jelű),
- - nióbiumos (22-es jelű),
- - foszforos, alumíniumos, csökkentett Si-tartalmú (32-es jelű),
- - csökkentett Si-tartalmú, foszforos és alumíniumos (42-es jelű),
- - nióbiumos és molibdénos (52-es jelű).

A kísérletre kiválasztott TRIP-acélok fő jellemzője a nagyobb C- és Mn-tartalom.

A teljes gyártási útvonal az alábbi volt:

- - acélgyártás indukciós kemencében,
- - öntés kis tuskóvá,
- - előkovácsolás elektrosalakos átolvasztáshoz,
- - elektrosalakos átolvasztás,
- - kovácsolás kis bugává,
- - meleghegerlés,
- - hideghegerlés.

A kísérleti adagokból származó mintákból kivett dilatόμεteres próbatesten

- fénymikroszkópos és replikás transzmissziós elektronmikroszkópos vizsgálatokat végeztünk;
továbbá
- ausztenites állapotból, illetve $A_{C1}+25^{\circ}\text{C}$, illetve $A_{C1}+80-100^{\circ}\text{C}$ hőmérsékleten

kialakult állapotból kiindulva kettős fázisú illetve TRIP-acélok átalakulási tulajdonságait és a kialakuló szövetszerkezetet vizsgáltuk.

A dilatόμεteres mérések során hőkezelt mintákon azonosítottuk a szövetet alkotó fázisokat, szövetelemeket, figyelembe vettük a dilatogramok mennyiségi értékeléséből adódó információkat. A vizsgálatok a BAYATI-ban készültek. Az elvégzett vizsgálatok alapul szolgáltak azoknak a hőmérséklet-idő rezsimeknek a kijelölésében, amelyek már biztosítják a megfelelő szövetszerkezetet (kettős fázisú vagy TRIP). A kidolgozott kísérleti hőkezelési program a 2. táblázatban látható.

A).

B).

B1

B2

A

b:

v:

E

A

b

Acél-fajta	Próba-test jele	T_{norm} °C	T_{A20} °C	T_{A50} °C
DP	62B	795	745	
	72B	840	795	
TRIP	12B	865		820
	22B	890		845
	32B	955		920
	42B	865		820
	52B	880		835

2. táblázat

Kidolgozott kísérleti hőkezelési program

A). Normalizálás

1. Ausztenítés: T_{norm} hőmérsékleten
2. Hőntartás: 8 perc
3. Hűtés: szabad levegőn

B). Hőmérséklet-vezetés:

B1). DP-szövet előállítása céljából:

1. Ausztenítés: T_{A20} hőmérsékleten
2. Hőntartás: 8 perc
3. Hűtés: vízben

B2). TRIP-szövet előállítása céljából

1. Ausztenítés: T_{A50} hőmérsékleten
2. I. hőntartás: 8 perc
3. I. hűtés: 400 °C-os kemencébe átrakni 5-15 s alatt
4. II. hőntartás: 10 perc
5. II. hűtés: szabad levegőn

A 2 mm névleges vastagságú, hidegen hengerelt keskenyszalagokból kimunkált próbatestek – laboratóriumi körülmények közötti – hőkezelését a DUNAFERR Rt. Innovációs Menedzsmentje (DIM) végezte.

E próbatesteken a DIM

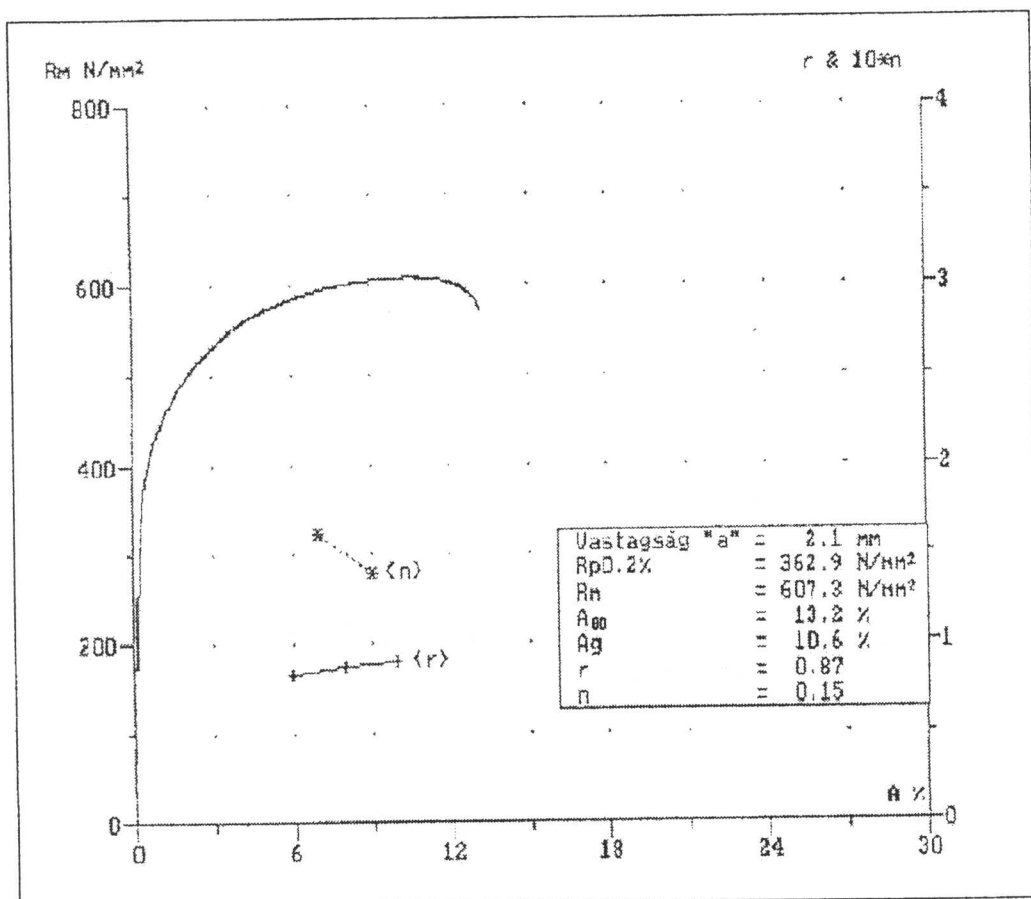
- szakítóvizsgálatot,
- szövetszerkezet meghatározást és
- mikrokeménység-mérést végzett.

A szakítóvizsgálati eredményeket a 3. táblázat tartalmazza, értelmezésére bemutatunk három jellegzetes szakítódiagramot (2., 3. és 4. ábra).

Acélfajta	Próbatest jele	$R_{p0,2}$ N/mm ²	R_m N/mm ²	A_{80} %	Rp/Rm
DP	62B	331	638	8,8	0,52
	72B	352	684	17,5	0,51
	62S2	345	596	14,0	0,58
TRIP	12B	399	938	13,3	0,43
	22B	359	909	18,3	0,40
	32B	320	682	22,4	0,47
	42B	331	869	13,0	0,38
	52B	332	792	28,3	0,42

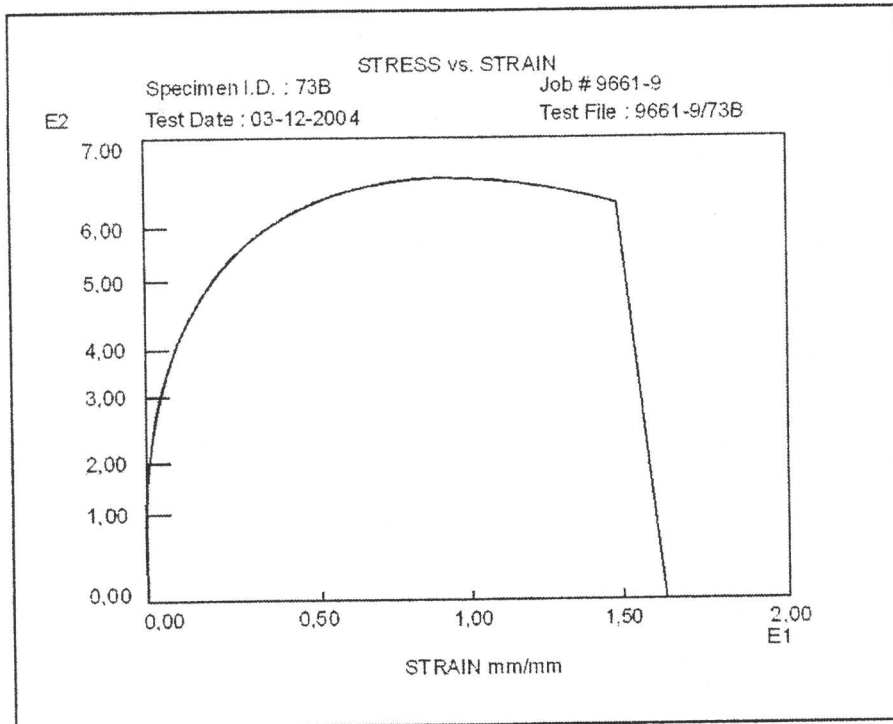
3. táblázat

Szakítóvizsgálati eredmények az EN 10002-1:2001 szabvány szerint

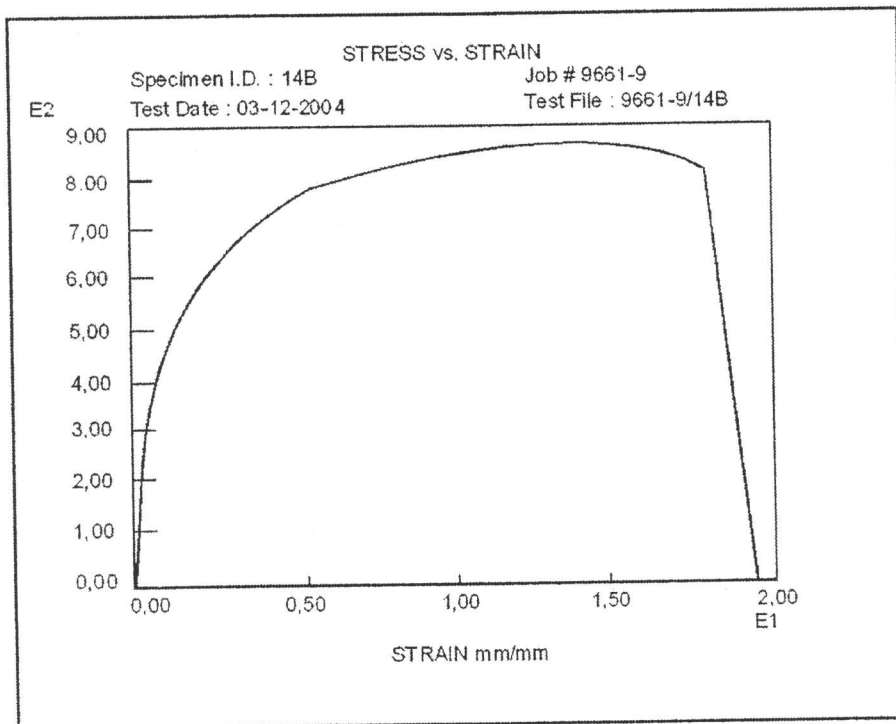


2. ábra

A 62S2 jelű próba szakítódigramja



3. ábra
 A 73B jelű próba szakítódigramja



4. ábra
 A 14B jelű próba szakítódigramja

A szövetelemek meghatározására Leica MEF4 típusú fémmikroszkópot és Leica Q500MW típusú képelemzőt alkalmaztunk. A szövetelemek mikrokeménység-mérését Micro-duromat 4000E típusú mikrokeménység-mérővel az MSZ EN ISO 6507-1:2000 szabvány szerint végeztük, 0,15 N terhelőerőt alkalmazva. A szövetelemek jellemzőit a 4.- és 5. táblázatok tartalmazzák.

Próbatest jele	Mikrokeménység az MSZ EN ISO 6507-1:2000 szabvány szerint HV 0,015													Keménység HV 10	Ferrit szemcsenagyság		Ferrit térfogatarány %
	Ferrit 1*						Ferrit 2*						átlag		szél	közép	
	1	2	3	4	5	átlag	1	2	3	4	5	átlag		átlag			szél
62B	235	231	223	218	223	226	245	259	249	243	252	250	308	11	11	47	
72B	181	179	181	174	168	177	180	187	173	187	188	183	239	10	10	53	

- *A 62B és a 72B jelű próbákban különböző keménységű ferrit található.
- A próbatestek szövetszerkezete: ferrit és martenzit/bénit.
- A színes maratást és a szövetelemek meghatározását Szalai Ibolya készítette.

4. táblázat

A végtermék szövetelemeinek jellemzői DP-acélra

Próbatest jele	Mikrokeménység az MSZ EN ISO 6507-1:2000 szabvány szerint HV 0,015												Keménység HV 10	Bénit térfogatarány %
	Világos fázis (Nital)						Sötét fázis (Nital)							
	1	2	3	4	5	átl.	1	2	3	4	5	átl.	átlag	átlag
12B	262	266	259	271	269	265	424	444	448	444	377	427	282	23
22B	263	267	259	239	283	262	448	455	470	474	497	469	279	22
32B	236	230	242	227	236	234	462	494	434	478	452	464	255	17
42B	274	271	276	264	280	273	Nem mérhető						299	Nem értékelhető
52B	231	231	224	223	227	227	Nem mérhető						226	21

A színes maratást és a szövetelemek meghatározását Szalai Ibolya készítette.

5. táblázat

A végtermék szövetelemeinek jellemzői TRIP-acélra

A SILCO EBNER-féle folyamatos hőkezelősorán ipari kísérleti hőkezelést is végeztünk, azokon a hidegen hengerelt keskenyszalagokon, amelyekből a 62B jelű próbatestek származnak. A vizsgálatok eredményeit ugyancsak a 3. táblázat tartalmazza.

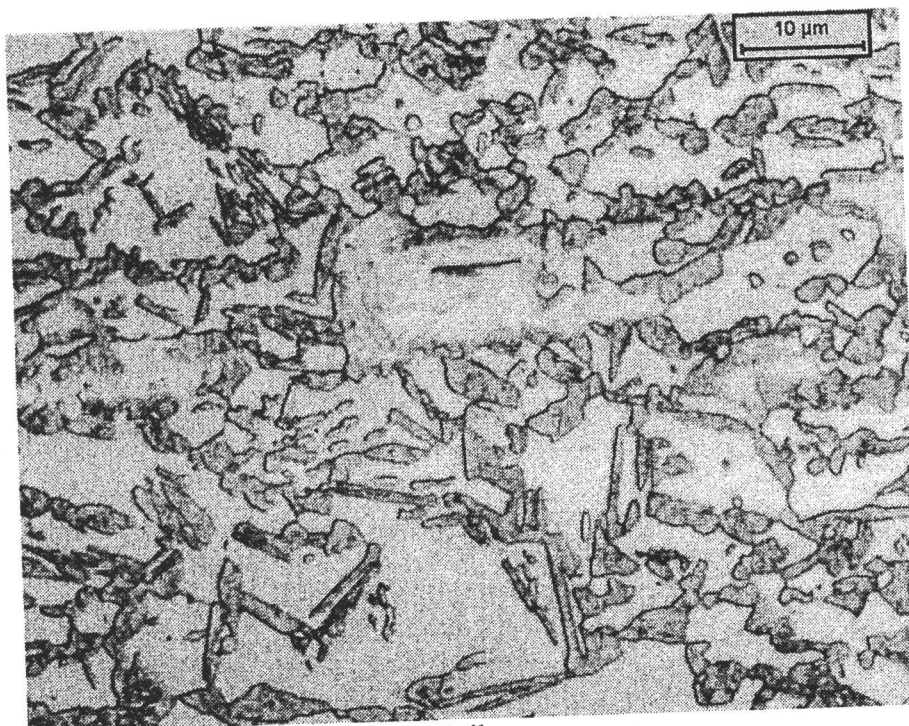
3. Az eredmények értékelése, következtetések

A kísérleti adagokból származó DP- és TRIP-szövetű acélszalagokból vett mintákon végzett vizsgálatok alapján a következőket állapítottuk meg.

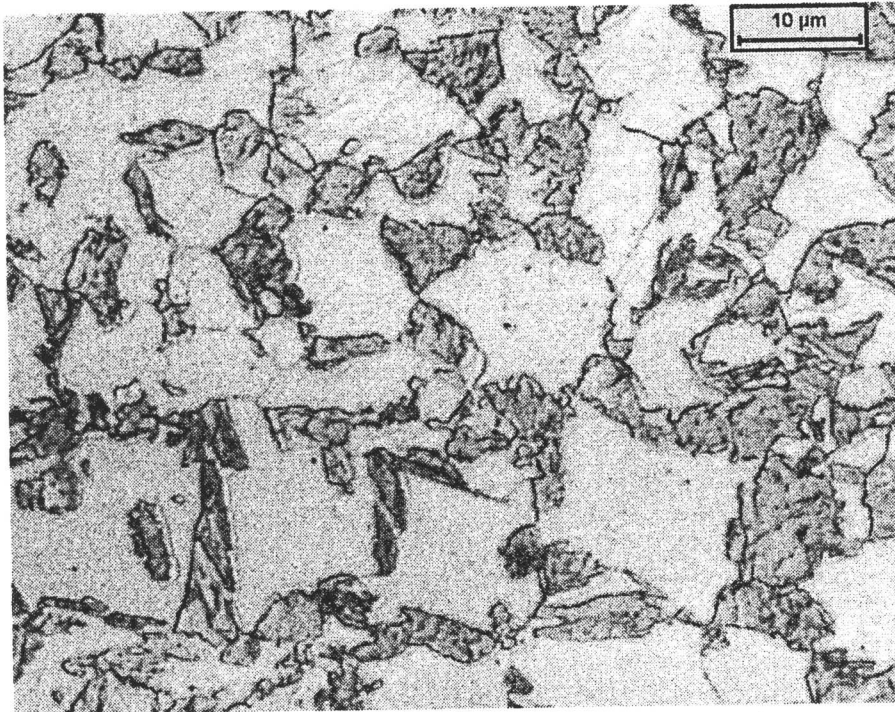
3.1. DP-acélok

A szakítóvizsgálati eredmények a minősítés szempontjából fontos paraméterek tekintetében mindkét adag esetében megfelelnek az irodalomban fellelhető értékeknek (a folyáshatár és szakítószilárdság aránya 0,51-0,58). A gyártmányok anyaga minőségi besorolás szempontjából a DP 350/600 acéltípusnak felel meg.

A kis adagok mintáinak szövete a duális fázisú acélokra jellemző képet mutat (5. és 6. ábra).



5. ábra
A 62B jelű próba
(Eredeti nagyítás: 1250x, Nital)



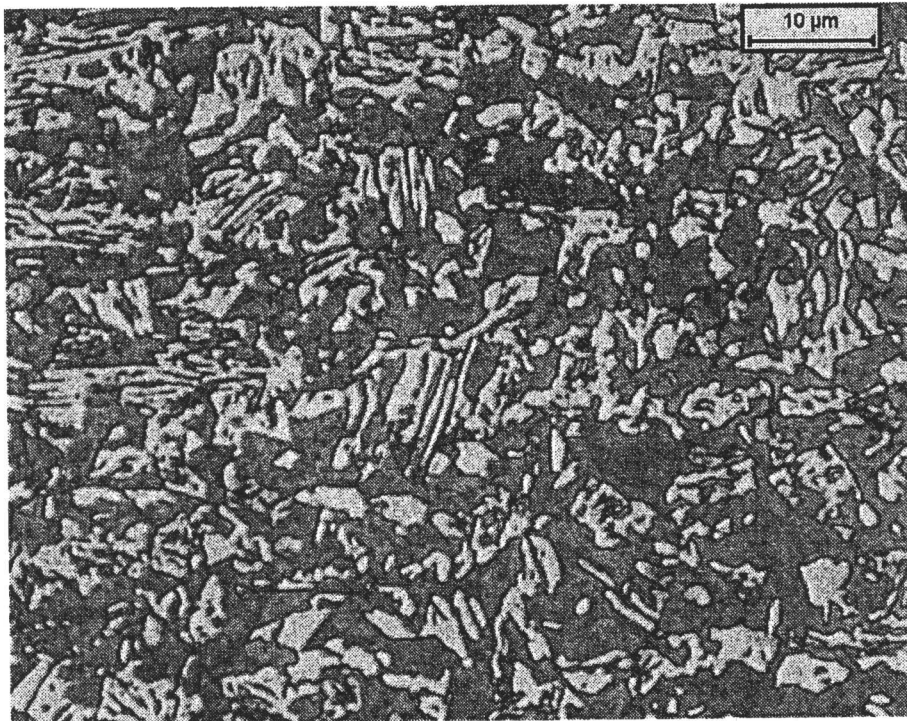
6. ábra
A 72B jelű próba
(Eredeti nagyítás: 1250x, Nital)

A ferrit térfogataránya 47%-53%. A ferrit alapszövetben martenzit (kis mértékben bénit) található egyenletes eloszlásban. A szövetszerkezet egyenletes szemcsenagyságú, finomszemcsés. A ferrit szemcsenagysága 10-11-es fokozatú az ASTM-skálán.

3.2. TRIP-acélok

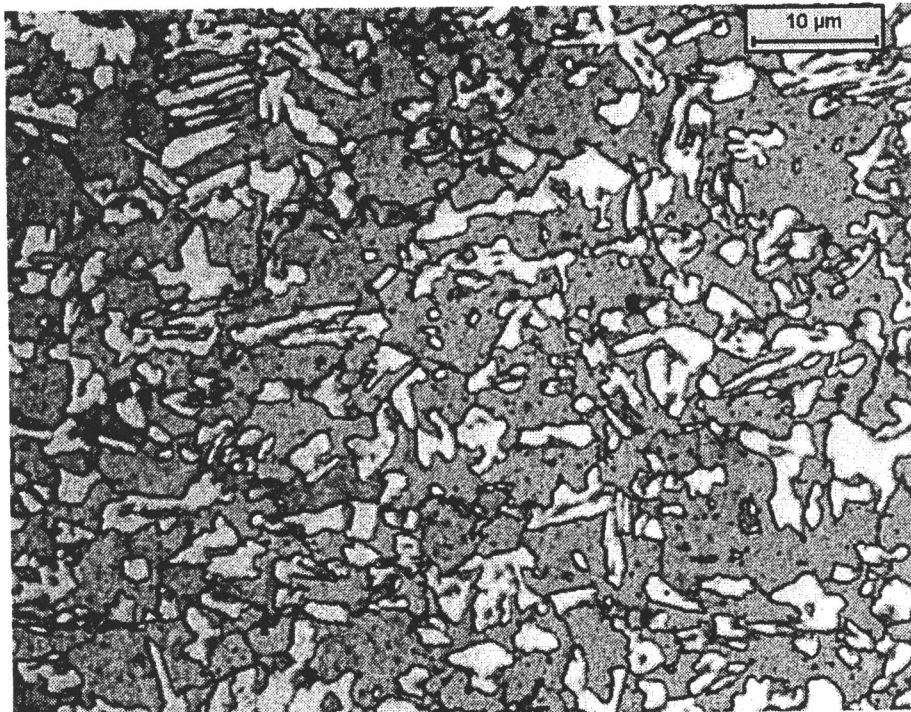
A szakítóvizsgálati eredmények a minősítés szempontjából fontos paraméterek tekintetében, mind az öt adag esetében megfelelnek az irodalomban fellelhető értékeknek (a folyáshatár és szakítószilárdság aránya 0,38-0,47). Az $R_m \times A_{80}$ szorzat megközelíti a 22500 N/mm² x % értéket.

A kis adagok mintáinak szövete a TRIP-acélokra jellemző képet mutat (7., 8., 9, 10. és 11. ábra).



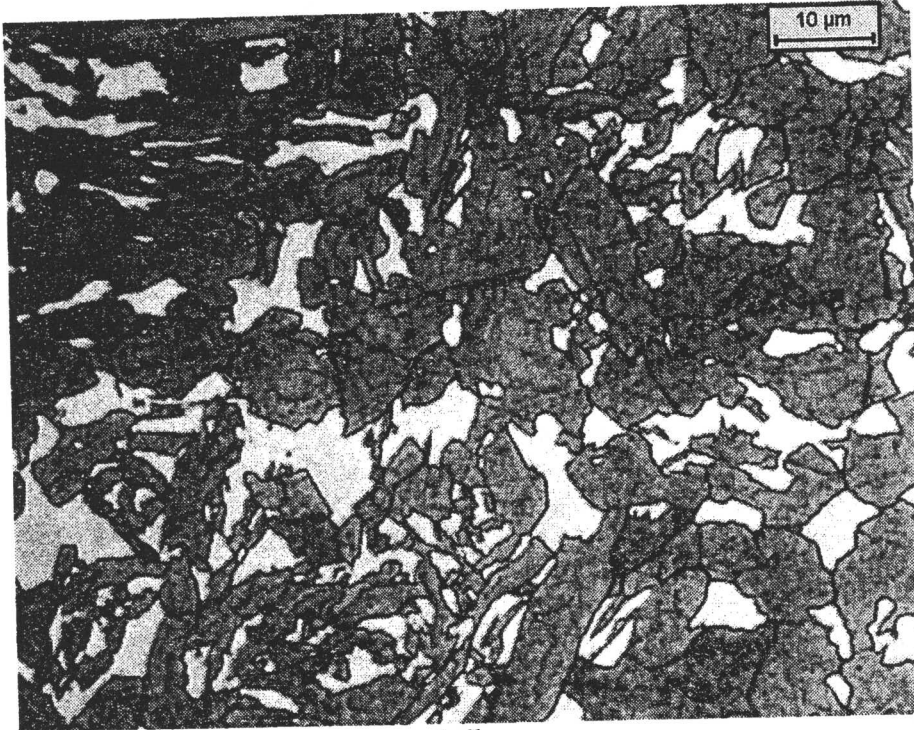
7. ábra

A 12B jelű próba középvonalának szövete
(Eredeti nagyítás: 1250x, LaPera)



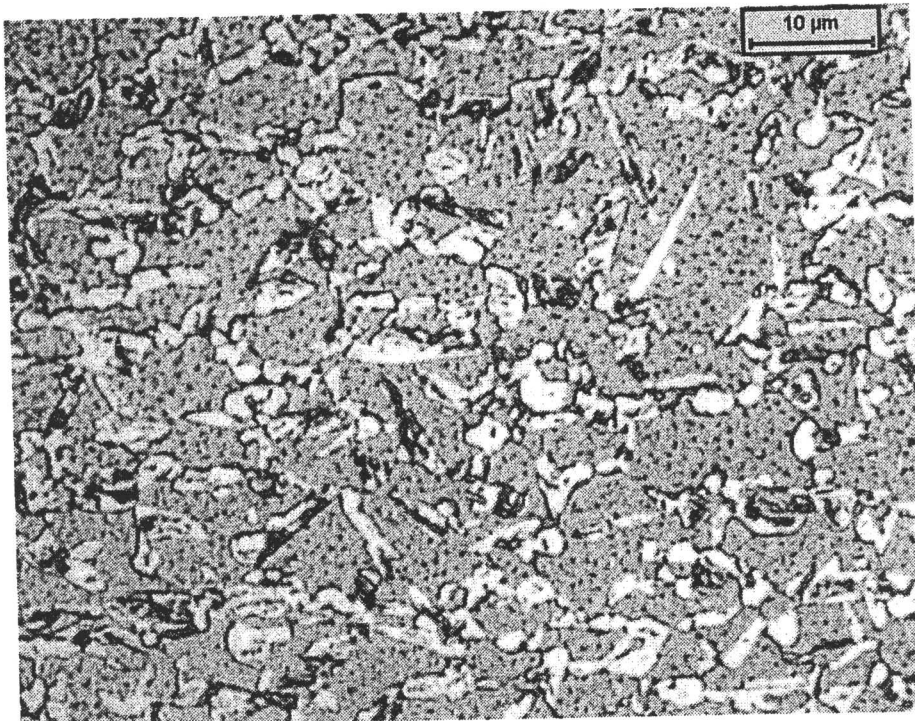
8. ábra

A 22B jelű próba középvonalának szövete
(Eredeti nagyítás: 1250x, LaPera)



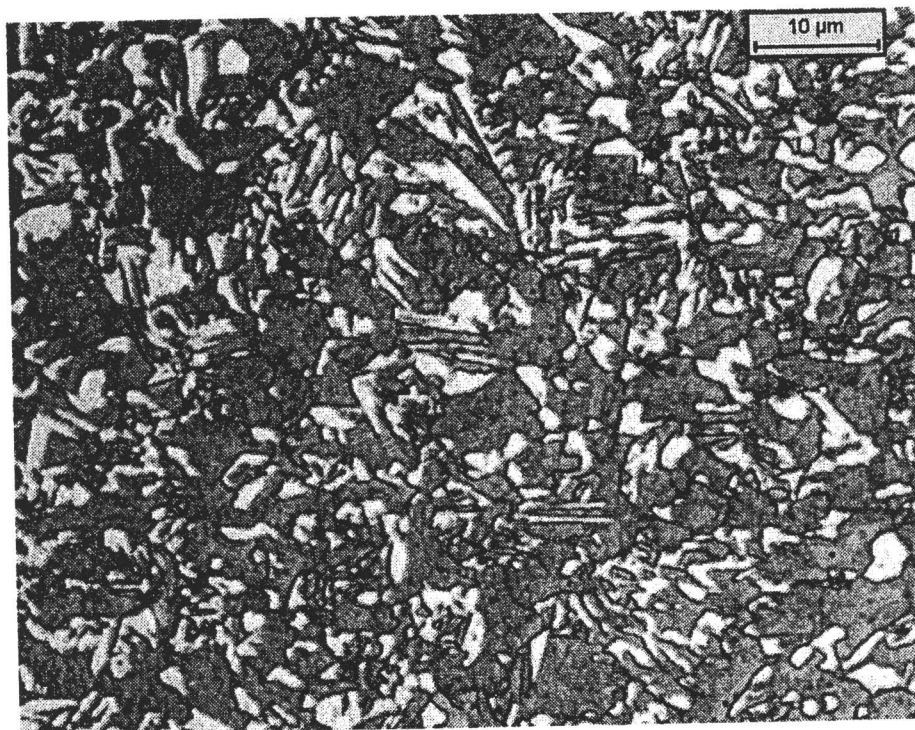
9. ábra

A 32B jelű próba középvezonának szövete
(Eredeti nagyítás: 1250x, LaPera)



10. ábra

A 42B jelű próba középvezonának szövete
(Eredeti nagyítás: 1250x, LaPera)



11. ábra

Az 52B jelű próba középvonalának szövete
(Eredeti nagyítás: 1250x, LaPera)

A ferrites alapszövetben bénit (kis mértékben martenzit) található egyenletes eloszlásban. A bénit (martenzit) térfogataránya 17% és 23% között van. A szövetszerkezet egyenletes szemcsenagyságú, finomszemcsés. A kísérleti gyártás eddigi vizsgálati eredményei alapján megállapíthatjuk, hogy az eredeti ütemterv szerint folytathatók a projektben megfogalmazott, nagyipari gyártásra vonatkozó feladatok. További feladatot jelent:

- az ausztenit-ferrit átalakulás vizsgálata, a megfelelő szövetarány elérése céljából,
- az interkritikus lágyítás paramétereinek további pontosítása,
- a maradék ausztenit mennyiségének és minőségének (karbontartalmának) meghatározása.

A kitűzött célok megvalósítása eredményeképpen olyan új generációs, nagy hozzáadott értékű acélok hazai gyártása válik lehetővé, melyek relatíve nagy szilárdságúak, ugyanakkor jó alakíthatóságúak lévén, a felhasználói tulajdonságegyüttesük révén elsősorban a gépkocsiiparban használhatók (gépjárművek merevítő és energiaelnyelő elemei, acélszerkezetei), de kiválóan alkalmazhatók a közlekedési infrastruktúra, a csomagolóipar és az építőipar területén is.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők, valamint a konzorcium tagjai ezúton köszönik alkotó közreműködését dr. Farkas Péternek és dr. Hári Lászlónak, (Dunaújvárosi Főiskola) valamint Potyondy Józsefnek (VASKOH Kft. Budapest).
Köszönetet nyilvánítanak továbbá az Oktatási Minisztériumnak, hogy lehetőséget biztosított a projekt indítására és kivitelezésére.

IRODALOM

- [1] Ernst-Jürgen Dreves, Bernhard Engl, Jochen Cruse: Höherfeste Stähle - heute und morgen; Stahl und Eisen, 119 (1999) Nr 5
- [2] The Ultralight Steel Auto Body (ULSAB)
WebSite: www.steel.org/autosteel/ulsab_avc/ttd6_sec1_2.htm
- [3] Koh-ichi SUGIMOTO, Akinobu KANDA, Ryo KIKUCHI, Shun-ichi HASHIMOTO, Takahiro KASHIMA and Shushi IKEDA: Strength Low Alloy TRIP-aided Sheet Steels with Annealed Martensite Matrix, ISIJ Int., Vol. 42 (2002) No. 8, pp. 910-915, ISSN 915-1559
- [4] Lőrinczi József, dr. Zsámbók Dénes, dr. Verő Balázs, dr. Horváth Ákos: Nagyszilárdságú és jól alakítható acélok hazai fejlesztési kísérletei, XX. Hőkezelő és Anyagtudomány a Gépgyártásban Országos Konferencia és Szakkiállítás, Kecskemét – 2002. október
- [5] Nemzeti Kutatási Fejlesztési Programok 2002. NKFP-3A/0063/2002 sz. pályázatán a 3A sz. programban megjelölt: Új generációs, nagy hozzáadott értékű, többes fázisú acélok az életminőség szolgálatában c. projekt pályázati anyagai
- [6] Klaus Hulka: Modern Multi-Phase Steels for the Automotive Industry, Material Sciens, Testing and Informatics, ed. by J. Gyulai, ttp TRANS TECH PUBLICATIONS, 3rd Hungarian Conference on Materials Sciens, Testing and Informatics, Balatonfüred – 2001. Október, Materials Science Forum Vols., 414-415(2003) pp.101-110
- [7] International Conference on TRIP-Aided High Strength Ferrous Alloys, June 19-21. 2002. Ghent University Ghent Belgium, GRIPS' Sparkling World of Steel, Vol. 1: Proceedings.