

NKFP-3A/0063/2002

**Új generációs, nagy hozzáadott értékű, többes fázisú acélok az
életminőség szolgálatában**

17 részfeladat

Zárójelentés

Tartalma: részletes beszámoló
Mellékletek száma: 5

Felelős: Dr. Verő Balázs

Tartalomjegyzék

Bevezetés_____3. oldal

Többes fázisú acélok kifejlesztése rövid című munka
műszaki és tudományos eredményei_____6. oldal

A költségterv és pénzfelhasználás viszonyának bemutatása_____22. oldal

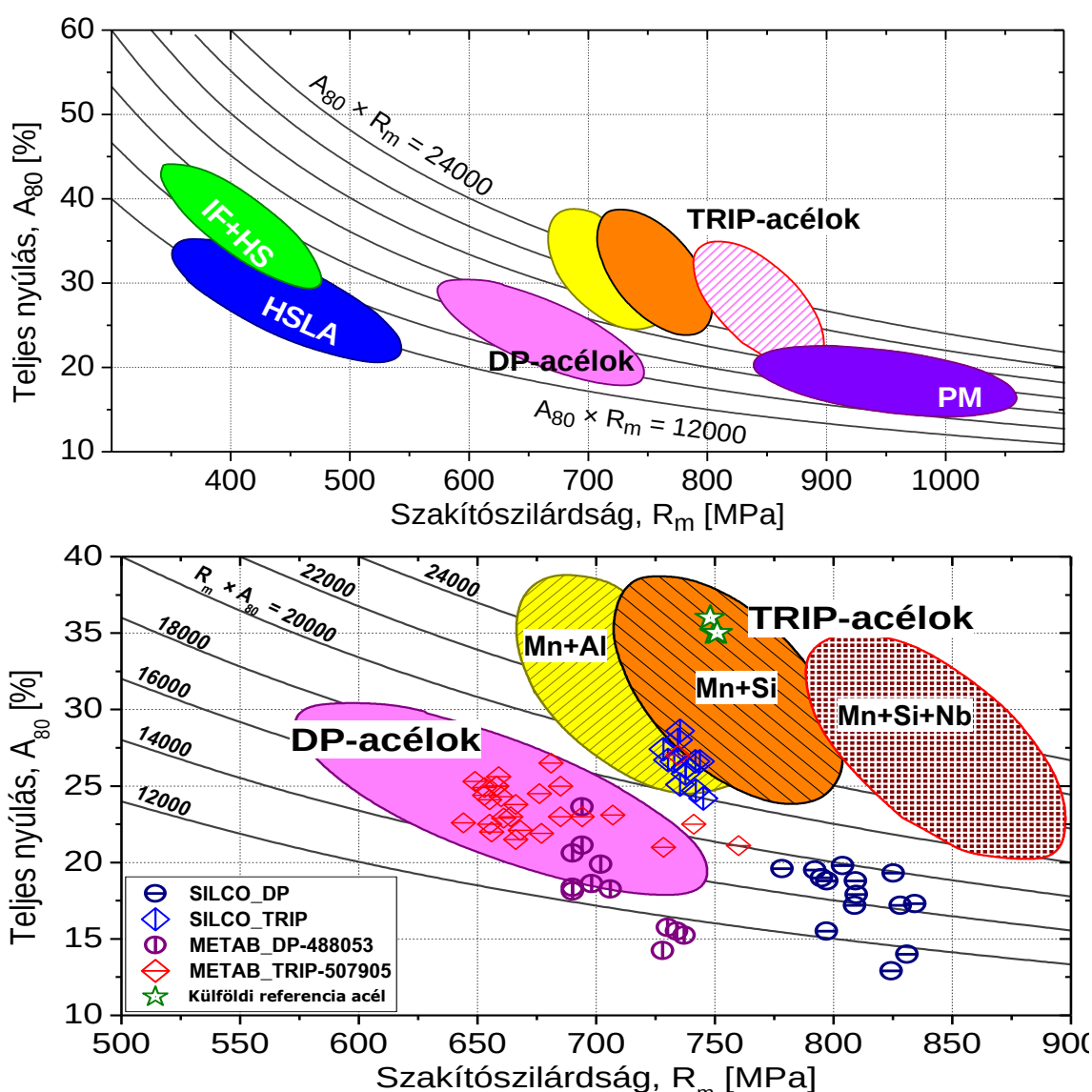
Az eredmények gazdasági és társadalmi hasznosíthatósága_____23. oldal

Összefoglaló értékelés_____25. oldal

Bevezetés

Az „Új generációs, többes fázisú, nagy hozzáadott értékű acélok az életminőség szolgálatában” teljes, és „A többes fázisú acélok kifejlesztése” rövid című OM-támogatású, NKFP 3A/0063/2002 számon nyilvántartott kutatás-fejlesztési téma célja többes fázisú és TRIP-acélok ipari körülmények között való előállítás volt, a meglévő technikai adottságok figyelembevételével és műszaki-tudományos ismereteink tudatos alkalmazásával. Bár már a vonatkozó pályázati anyagunkban is kifejtettük, hogy mit hangsúlyozunk az új generációs, a többes fázisú és a nagy hozzáadott értékű jelzőkkel, helyénvalónak érezzük, hogy a program sikeres teljesítése kapcsán szerzett tapasztalatokat is beépítve, röviden újra értelmezzük ezeket a jelzőket.

Az új generációs jelző értelmét az 1. ábra számtalan helyen és formában megjelent diagramjával értelmezhetjük legkönnyebben.



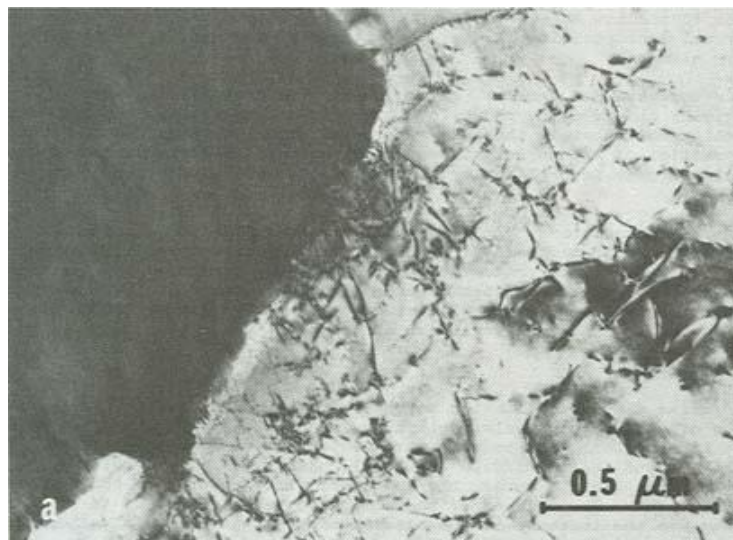
1. ábra. A szerkezeti acélok A_{80} nyúlásának és R_m szakítószilárdságának kapcsolata [1].
Ebbe az ábrába berajzoltuk az általunk kifejlesztett többes fázisú- és TRIP-acélok jellemző pontokat is.

A diagram világosan mutatja, hogy a hagyományos, „régi generációs” acélok $A_{80}R_m$ értéke a 12000-13000-rel jellemzett hiperbola ágat rajzolja ki, jelezve, hogy a szakítószilárdság növekedése szükségszerűen a teljes, vagy szakadási nyúlás csökkenéséhez vezet. Az új generációs acélok szakítószilárdsága anélkül növelhető, hogy nyúlásuk, alakíthatóságuk csökkenne, vagy másképpen megfogalmazva, adott és megegyező szakítószilárdság esetén az új generációs, többes fázisú- és TRIP-acéloknak nagyobb az alakíthatóságuk, nyúlásuk, mint a hagyományos szerkezeti acéloknak. A szakítószilárdság és a nyúlás közötti, korábban megsérthetetlen kapcsolat érvényességét lépik túl az új generációs szerkezeti acélok, mégpedig azáltal, hogy új felismeréseken alapuló alakítási keményedési mechanizmusok működési feltételeit építjük be szerkezeti acélokbá. Az alakítási keményedésnek ezt a változatát a szövetszerkezet jellege által meghatározott keményedésnek nevezzük (német nyelvben például Gefügeverfestigung, vagy Gefügehärtung). Ezzel a megállapítással már el is jutottunk a második jelzőhöz, nevezetesen a többes fázishoz.

Meg kell jegyeznünk, hogy a kutatás-fejlesztési téma ideje alatt e témakörben bizonyos fogalmak jelentése pontosodott, egyértelműbbé vált, elsősorban a szabványosítási tevékenység hatására és eredményeképpen (lásd például az EN10079 szabványt).

A többes fázisú acélok mai értelmezésünk szerint a korábban dual phase steel (DP-acél)-nak nevezett és az ún. komplex fázisú acélok csoportját foglalja magába, míg a TRIP-acélok csoportját ma már önálló csoportként kezeljük. Ezt az elkülönített kezelést az MP- és TRIP-acélokra jellemző szövetszerkezet eltérő jellegével, és ennek megfelelően a bennük hidegalakítás közben érvényesülő mikromechanizmusok speciális sajátosságaival indokolhatjuk.

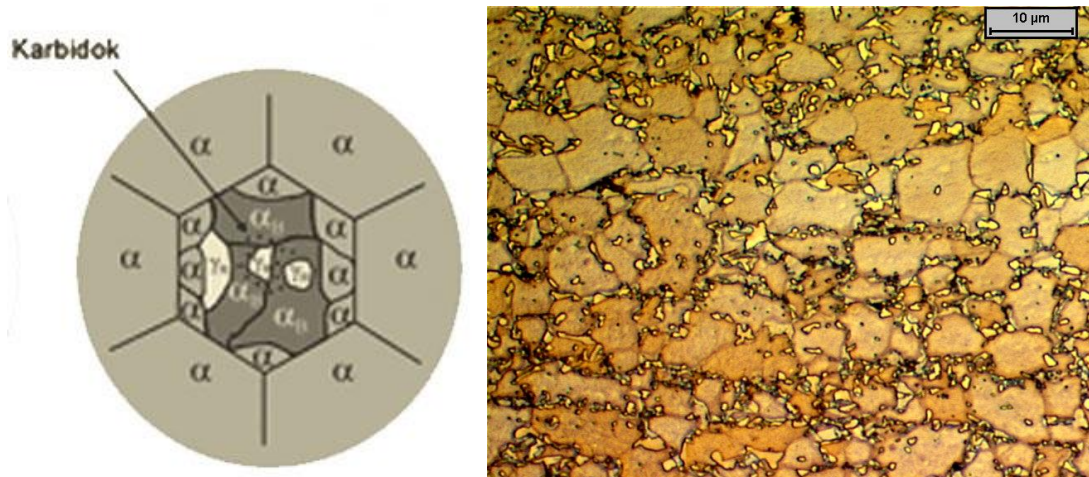
Az MP- és TRIP-acélokra egyaránt jellemző, hogy tulajdonságaik szövetszerkezetük jellegzetességeiből, és nem kémiai összetételükből vezethetők le. Az MP-acélok szövetét mintegy 80tf% ferrit és 20tf% martenzit alkotja (lásd 2. ábra), míg a TRIP-acéloké mintegy 50tf% ferrit, 35tf% bénit és 15tf% maradék ausztenit alkotja. Az MP-acélok kedvező $R_{p0,2}/R_m$ -arányát, relatíve nagy $A_{80}R_m$ -szorzatát azzal magyarázhatjuk, hogy a martenzit/ferrit fázis határfelületen a ferritben a martenzit fajtérfogat növekedéssel lejátszódó kialakulása következtében képlékeny alakváltozás játszódik le, mely a fázishatár környezetében a ferritben megnöveli a mozgásra képes diszlokációk számát. Ez a jelenség analóg a dresszírozott (kis mértékben hengerelt) acélokbán a képlékeny alakváltozás kezdeti szakaszában lejátszódó jelenséggel. Az is érthető ebből a megfogalmazásból, hogy az MP-acélok esetén a szövetet alkotó szövetelemek térfogathányadából és az egyes szövetelemekre jellemző mechanikai értékekből az acél folyáshatára egyszerű keverési szabállyal nem számítható.



2. ábra. Mozgásra képes diszlokációk a martenzit/ferrit fázishatárfelületen [2]

A TRIP-acélok kedvező $R_{p0,2}/R_m$ -arányát és kiemelkedően jó A_{80} -nyúlását (alakíthatóságát) lényegében a szövetben visszamaradó maradék ausztenitnek hidegalakítás hatására fokozatosan bekövetkező martenzitté történő átalakulása biztosítja. A kedvező tulajdonságkombinációhoz az is hozzájárul, hogy a szövetet eltérő tulajdonságú (keményedőképességű) szövetelemek alkotják, így az alakváltozás fokozatosan terjed át a maradék ausztenitről a ferritre, majd bénitre, megközelítve végül a maradék ausztenitből képződött martenzit szilárdságát.

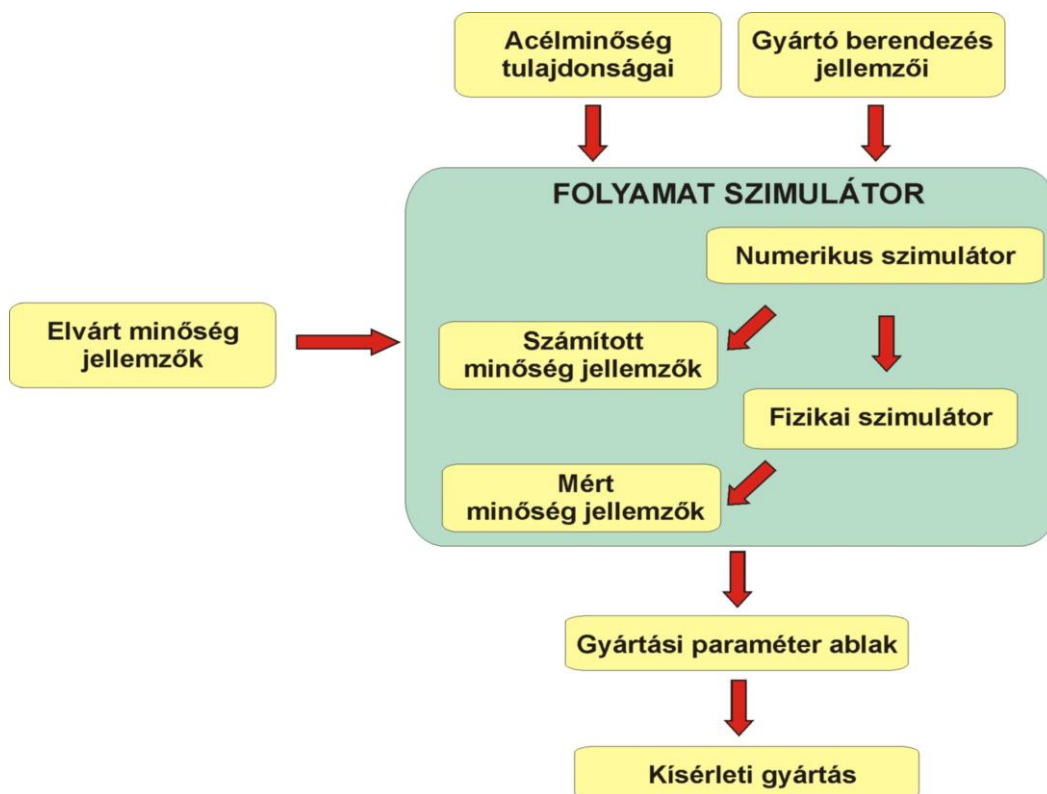
A TRIP-acél jellegzetes szövetképét a 3. ábra mutatja. A szövetet alkotó három szövetelem csak speciális „maratásos” eljárással jeleníthető meg (Lapera [3]).



3. ábra. A TRIP-acél jellegzetes szövege sematikus vázlat (baloldalon), a kutatás-fejlesztési téma során kifejlesztett TRIP AIP700 szövege (jobb oldalon), maratás: Lapera színesmaratás

Amint arra már utaltunk, a többs fázisú és TRIP-acélokra sokkal inkább szövetszerkezetük sajátosságai, mint vegyi összetételük a jellemző. Elméletileg az adott acél átalakulási tulajdonságának pontos ismeretében, a hőkezelő kemence termikus viszonyainak, illetve a meleghegnyelés közbeni hőmérsékletvezetés figyelembevételével a legkülönbözőbb összetételű acélokból lehet ilyen szövetszerkezetű acélokat gyártani. Érvényesülhetnek azonban, és érvényesülnek is más szempontok által meghatározott korlátok, például a hegeszthetőség által meghatározott maximális karbon-tartalom. Mégis azt, hogy ezek az acélok *nagy hozzáadott értékűek*, alapvetően a szövetszerkezet tudatos befolyásolásával érjük el, aminek alapja a műszaki-tudományos ismeretek birtoklása, és azok eredményes alkalmazása.

A szövetszerkezet és így a tulajdonságok tudatos módosításának legfontosabb eszköze a számítógépes anyagtudományi modellezés, amely azonban nem nélkülözheti a szimulációs és üzemi kísérleteket sem. Ennek a szemléletnek a megvalósulását mutatja példaként a 4. ábra blokkdiagramja, amely a SILCO Rt. Ebner-típusú hőkezelő során végzett kísérleti hőkezelések kapcsolódását mutatja a modellezéssel és szimulációval. Hasonló elvű a meleghegnyelésre épülő fejlesztési útvonal stratégiája is. Ebben az esetben azonban a „szimulátor”-nak termomechanikus szimulátornak kell lennie (pl. Gleeble 3800-típus). Ilyen berendezés hazánkban nincs.



4. ábra. A többes fázisú acélok fejlesztési metodikájának blokkvázlata.

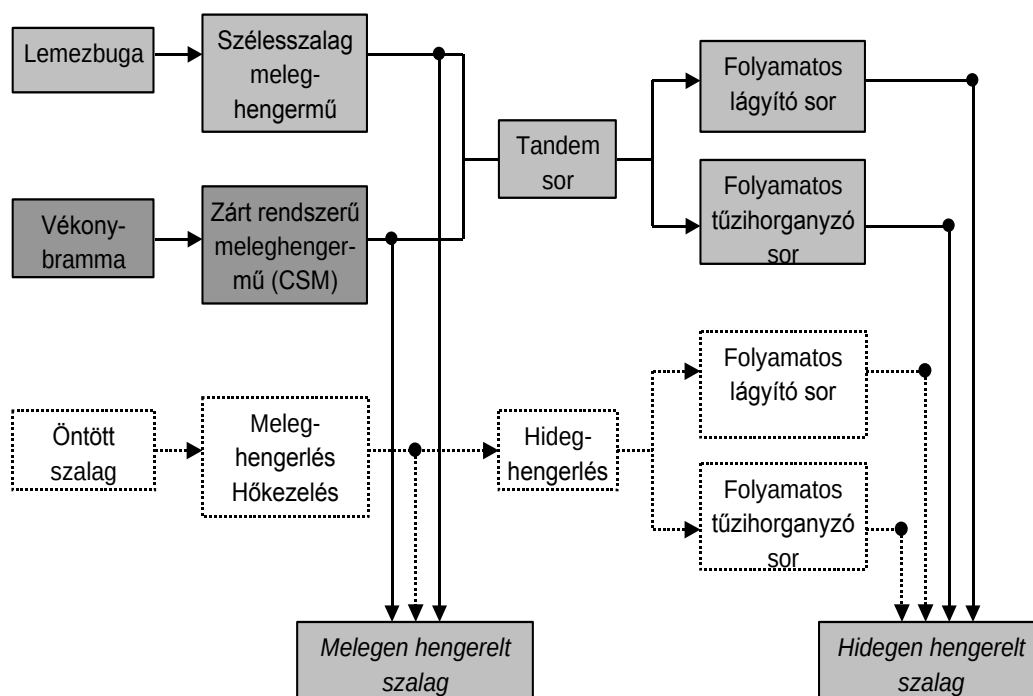
1. Többes fázisú acélok kifejlesztése rövid című munka műszaki és tudományos eredményei

A kutatás-fejlesztési téma műszaki-tudományos eredményeinek ismertetéséhez a részjelentésekben már közölt 5. ábrát hívjuk segítségül, amely az MP- és TRIP-acélok lehetséges gyártási útvonalát mutatja sematikusan. Az ábra világosan szemlélteti, hogy ilyen szövetszerkezetű szalagok:

- közvetlen meleghengerléssel
- melegen- vagy hidegen hengerelt szalag interkritikus lágyításával
- hidegen hengerelt vagy melegen hengerelt és pácolt szalag folyamatos tűzi horganyzóson végzett interkritikus lágyításával állítható elő.

Elöljáróban megjegyezzük, hogy horganyzott MP- vagy TRIP-szalag előállítása nem volt a projekt közvetlen célja. A horganyzóson végzett interkritikus hőkezelés paramétereit sikerült úgy megválasztanunk, hogy a horganybevonat minősége is megfelelt az elvárásoknak és így a kísérletek az eredeti célkitűzést is meghaladó eredményre vezettek.

Az érvénybe lépett szabványok szerint ma már csak az MP-acél megnevezést lehetne használni. A műszaki gyakorlatban azonban ma még igen gyakran találkozunk a DP-acél kifejezéssel is. Az egyértelműség kedvéért rögzítjük, hogy a DP-acélokat az MP-acélok klasszikus képviselőinek tekintjük.



5. ábra. A többesfázisú és TRIP-szalagok előállításának lehetséges változatai.

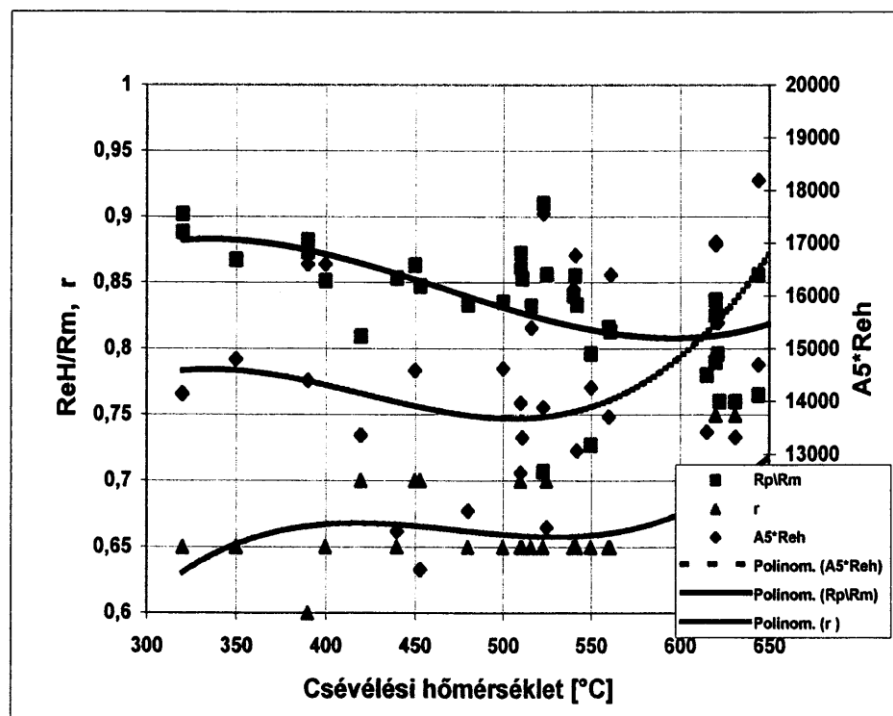
Az MP- és TRIP-acélok közvetlen meleghengerléssel történő előállításai kísérletei csak részeredményeket szolgáltatottak, de éppen ez a részleges sikertelenség vezetett egy szabadalmi újítási javaslat kidolgozásához és annak Dunafer Rt.-hez történő benyújtásához (lásd 1. melléklet). A részbeni sikertelenség okait az újítási javaslat részletesen elemzi, itt erre – elsősorban terjedelmi okokból – nem térünk ki. Csak azt emeljük ki, hogy a folytatólagos sor terhelhetőségének korlátai és hűtőpadi elrendezés adottságai akadályozzák meg a szükséges szövetszerkezeti állapot elérését. A meleghengerléssel történő szalaggyártás kritikus lépése a megfelelő mennyiségű ferrit létrejöttének biztosítása. Mivel ennek az átalakulásnak a sebességét alapvetően a karbonnak az ausztenitben való diffúziós sebessége és a létrejött, növekedésre képest ferrit csírák térfogategységenkénti száma határozza meg, a folyamat sebességét csak úgy növelhetjük a kívánt szintre, ha a csíraszámot növeljük, mert a karbon diffúzió sebességét alapvetően a hőmérséklet határozza meg. Bár egyes szerzők az egyenlőtlen karbon-eloszlás miatt a csíráképző helynek alkalmas térfogat jelentős csökkenésével számolnak [4]. Nem lehet véletlen, hogy a fejlett vaskohászati országok közül is csak kevesen gyártanak és visznek piacra (pl. Japán) melegen hengerelt MP- vagy TRIP-acélt (K.Hulka személyes közlése). A szélesebb körű elterjedést az is gátolja, hogy a tárgyalt acélminőségek általában hidegalakításra szántak, és így vastagságuk 2 mm alatti, továbbá ma már többnyire bevonatos formában viszik piacra azokat.

A projekt zárásának időszakában jutott tudomásunkra, hogy a fejlett autógyártó országokban egyes gépkocsi-karosszéria vázelemek interkritikus hőmérsékletre végzett sajtolással gyártják. Ennek a technológiának az a lényege, hogy a kérdéses alkatrész terítékét az acél összetétele által meghatározott interkritikus hőmérsékletre hevítik, majd az ilyen hőmérsékletű alkatrészt szokásos szerszámok között alakítják [5]. Az alakítás során a szerszám hűtőhatása miatt kialakul a ferrit-martenzites szövet (DP-állapot), és az alkatrész elnyeri végső alakját. Ennek a módszernek az előnye, hogy az alkatrész készre alakításakor nem csökkentjük a lemez anyagának alakváltozó képességét. Ez az új lehetőség a meleghengerléssel kapcsolatos kutatási eredményeinket új megvilágításba helyezi, hiszen a

DE700-as minőségű melegen hengerelt szalag ilyen típusú, tehát interkritikus melegsajtolásra megítélésünk szerint alkalmas lehet. Ilyen irányú kutatást a konzorcium tagjai a közeljövőben kezdeményezni fognak.

A saját melehengerlési kísérleteink DP-acélokra és TRIP-acélokra vonatkozó részeredményei a következők:

- *DP-acélokra vonatkozó eredmények:* A 3,0 mm vastagságú melegen hengerelt szalag folyási határ/szakítószilárdság arányát 750 MPa szakítószilárdság esetén a hengerlési véghőmérséklet, a hűtőpadon érvényesülő lehűlési viszonyok és a csévélési hőmérséklet tudatos megválasztásával a szokásos 0,88-as értékről 0,82-ra sikerült csökkenteni, amint azt a 6. ábra mutatja. Ezeket az adatokat a regressziós egyenlet alapján adtuk meg, de amint az a diagram egyedi mérési adataiból látszik, hogy esetenként 0,76-os értéket is elértünk. A hengerlési technológia idő és hőmérséklet adataiból a kérdéses acél átalakulási diagramjából kiolvasható adatok összevetése alapján megállapítható, hogy az adott soron nincs lehetőség kellő mennyiségű (80-85%) ferrit kialakulásához. Ez a 0,76 körüli $R_{p0,2}/R_m$ -arányú szalag várhatóan előnyösen alkalmazható épületszerkezetek azon elemeiben, amelyek húzóigénybevételnek vannak kitéve, és amelyeknek kellő biztonsági tartalékkal kell bírniuk. A DE700 minőségű melegen hengerelt acélszalagot – mely alapvetően bénites szövétű – a Dunafer Rt. termékínálatába felvette és a kísérleti gyártásból származó lemezből az egyik felhasználó daruszerkezetet készített. A különböző melehengerlési technológiai variációkkal előállított szalagok szolgáltak a tovább kísérleti gyártásokhoz alapanyagul.



6. A DP01-jelű adag $R_{p0,2}/R_m$ arányának változása a csévélési hőmérséklet függvényében.

TRIP-acélokra vonatkozó eredmények: Az Al- és P-ötvöztetésű TRIP-acéllal végzett meleghengerlési kísérletek korlátozott számúak voltak, mert a folyamatosan öntött bugák egy része a tolokemencébe való beadásig eltelt idő alatt megrepedt. A többi buga kihengerlése problémamentes volt. A sikeresen kihengerelt 3 bugából származó 3,0 mm vastag szalag szolgált a további kísérletek alapanyagául.

A meleghengerlési kísérletek során tapasztaltak a következő kérdésekre megoldására hívták fel a figyelmet:

- A repedésre hajlamos folyamatosan öntött bugák lehűlésének megakadályozására
- A meleghengerlési folyamat számítógépi modellezésének fontosságára, a folyamat szimulációjára
- A meleghengermű telepítésekor az új acélminőségek szabta követelmények szem előtt tartására, figyelembe vételére

Melegen hengerelt állapotban az Al-P ötvöztetésű TRIP-acél szövete ferritből és nagyon finom lemezes perlitből állt. Röntgendiffrakciós vizsgálattal a várakozásoknak megfelelően maradék ausztenit kimutatni nem lehetett. A szövetszerkezeti sajátosságok jól tükröződnek a mechanikai jellemzők értékeiben, nevezetesen: $R_m = 647 \text{ MPa}$, $R_{p0.2} = 447 \text{ MPa}$, $A_{80} = 28,2\%$. A többs fázisú és TRIP-acélok interkritikus hőkezeléssel történő előállítására irányuló fejlesztő munkánk teljes sikerrel járt. Hazánkban először állítottunk elő ipari körülmények között szabványos minőségű MP- illetve TRIP-acélt. Az interkritikus hőkezelés lényege az, hogy a hőkezelés első lépésében az acélt A_1 és A_3 hőmérséklet közötti hőmérsékletre hevítjük, majd a kellő mennyiségű ausztenit (20tf% illetve 50tf%) létrejötte után tudatosan megválasztott hőmérsékletvezetéssel szobahőmérsékletre hűtjük. Többs fázisú (pl. DP-acél) esetén az interkritikus hőmérsékletéről a kialakult ausztenit kiritikus lehűlési sebességénél gyorsabban hűtjük le a szalagot M_f -hőmérséklet közelébe, míg a TRIP-acélok esetén lépcsős hűtést alkalmazunk. A lépcsős hőmérséklete a kialakult ausztenit felső bénitté való átalakulási hőmérsékletének felel meg. A csak részlegesen és karbid kiválás nélkül lejátszódó bénites átalakulás eredményeképpen 5-15tf%-nyi maradék ausztenit marad vissza a szövetben. A fejlesztő munka az alábbi lépések sorozatából állt:

- A többs fázisú acélok vegyi összetételére vonatkozó szakirodalmi források értékelése
- A kiválasztott vegyi összetételű acélokból laboratóriumi és üzemi gyártási kísérletek végrehajtása
- A kiválasztott acélok átalakulási hőmérsékleteinek meghatározása DTA- és dilatométeres vizsgálatokkal
- A kiválasztott acélok átalakulási diagramjainak, vagy azok részleteinek meghatározása
- Az ipari hőkezelő berendezés termikus viszonyainak megismerése, a beállítható paraméterek (pl. szalagsebesség) szélső értékeinek megismerése
- A hőkezelendő szalag hőmérsékletének meghatározása számítógépes modellezéssel, az átalakulási hő figyelembevételével
- Az acélszalag szövetszerkezetének és ezen keresztül tulajdonságainak előrejelzése.

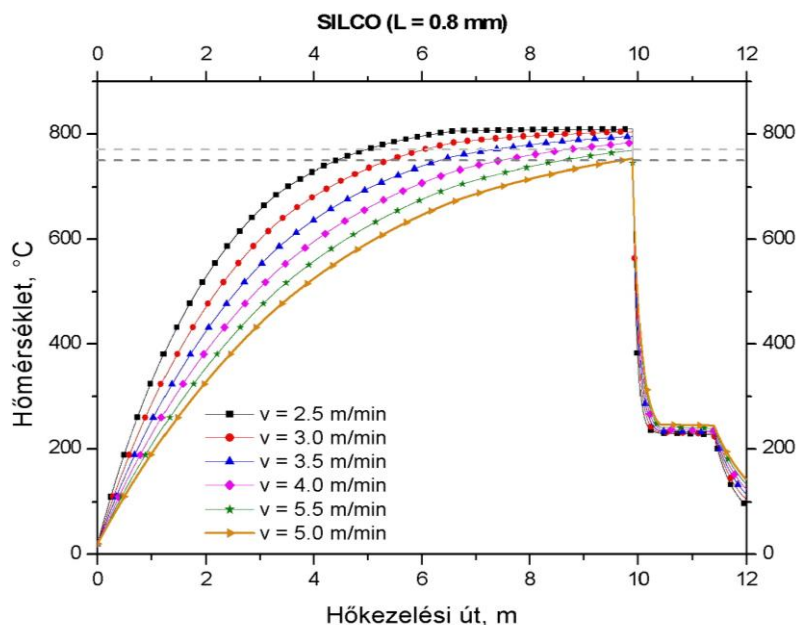
Ehhez a fejlesztési lánchoz sorosan kapcsolódik valamilyen fizikai szimulátorral végzett verifikációs kísérlet is, amint arra a 4. ábra kapcsán már utaltunk. A DP-szövetű acélszalag kiindulási anyagául az 1. táblázatban megadott összetétellel jellemzett 3,0 mm vastag melegen hengerelt szalag szolgált, amelyet hasítás után a SILCO Rt.-ben hengereltek le hidegen a kívánt vastagságra, majd ezt a szalagot vetettük alá interkritikus hőkezelésnek. A kutatási

stratégia hatékonyságát és eredményességét egyértelműen bizonyítja az a tény, hogy már az első ipari hőkezelési kísérlet eredményre vezetett: Hazánkban először állítottunk elő DP-szövetű acélt ipari körülmények között.

Acéltípus (jel)	Kémiai összetétel [%]											
	C	Mn	Si	P	S	Al	Cr	Nb	Mo	Ni	B	Ti
DP01	0,10	1,39	0,374	0,014	0,003	0,037	0,28	0,042	0,241	0,029	-	-
DE700	0,07	1,47	0,346	0,010	0,005	0,039	0,04	0,048	0,297	0,225	0,003	0,052

1. táblázat. A többes fázisú acélok alapanyagául szolgáló nagyüzemi adagok összetétele.

A számítógépes modellezés során számított szalaghőmérsékletet a 7. ábra diagramjával érzékeltetjük, míg a 2. táblázatban a különböző vastagságú- és szélességű szalagokra vonatkozó adatokat foglaljuk össze, hangsúlyozva azt a tényt, hogy a szalag tulajdonságai megfelelnek a DP700 minőségű acél nemzetközi szabványban szereplő acélminőségnek.



7. ábra. A DP-szalag ipari hőkezelési kísérleteinek számítógépes modellezési eredményei (számított hőmérséklet eloszlás a hőkezelési út és a húzási sebesség függvényében az Ebner hőkezelő soron).

		1. kísérlet	2. kísérlet	3. kísérlet	4. kísérlet
Szalag jellemzői	húzási sebesség (m/perc)	3,0	3,5	5,0	1,0
	vastagság (mm)	0,8	0,8	0,8	2,0
	szélesség (mm)	32,0	32,0	32,0	396,0
Termikus adatok	izzító szakasz hőm.(°C)	810	810	810	810
	Pb-Bi fürdő hőm.(°C)	230	230	230	260
A hőkezelt szalag mechanikai jellemző	R _m	860	805	625	846
	R _{p0,2}	405	370	288	428
	A ₈₀	-	-	-	16
	R _{p0,2} /R _m	0,471	0,459	0,461	0,506

2. táblázat. A SILCO Rt.-ben hőkezelt DP-szalagok előállítására és tulajdonságaira jellemző adatok.

A 2. táblázat utolsó sorában szereplő, 2 mm vastagságú és 396 mm szélességű szalag szolgált az autópálya-korlát kísérleti gyártásához alapanyagul. Ennek kapcsán célszerűnek tartjuk megjegyezni, hogy a többs fázisú és a TRIP-acélok alapvetően hidegalakításra szánt acélok, így a kereskedelmi forgalomba szinte kizárólag interkritikus hőkezeléssel előállított, maximálisan 2,0-2,5 mm vastagságú szalag kerül. A közvetlen meleghengerléssel előállított szalag szélesebb körű elterjedése csak akkor várható, ha a vékony melegen hengerelt szalagok előállításának technikai feltételei minden tekintetben biztosítottakká válnak, és a szélesszalag-hengermű telepítések az ilyen acélok támasztotta követelményeket is figyelembe veszik.

Áttérve a TRIP-acélok interkritikus hőkezeléssel végzett előállítására, kiemeljük, hogy TRIP-acélt, pontosabban ilyen acélszalag alapanyagául szolgáló konverter adagot hazánkban először a Dunafer Rt.-ben állítottak elő. A kísérleti adag összetételét a 3. táblázat tartalmazza.

Acéltípus (jel)	Kémiai összetétel [%]											
	C	Mn	Si	P	S	Al	Cr	Nb	Mo	Ni	B	Ti
TRIP-AIP	0,203	1,68	0,354	0,112	0,008	0,5	0,038	0,003	0,009	0,034	-	0,007

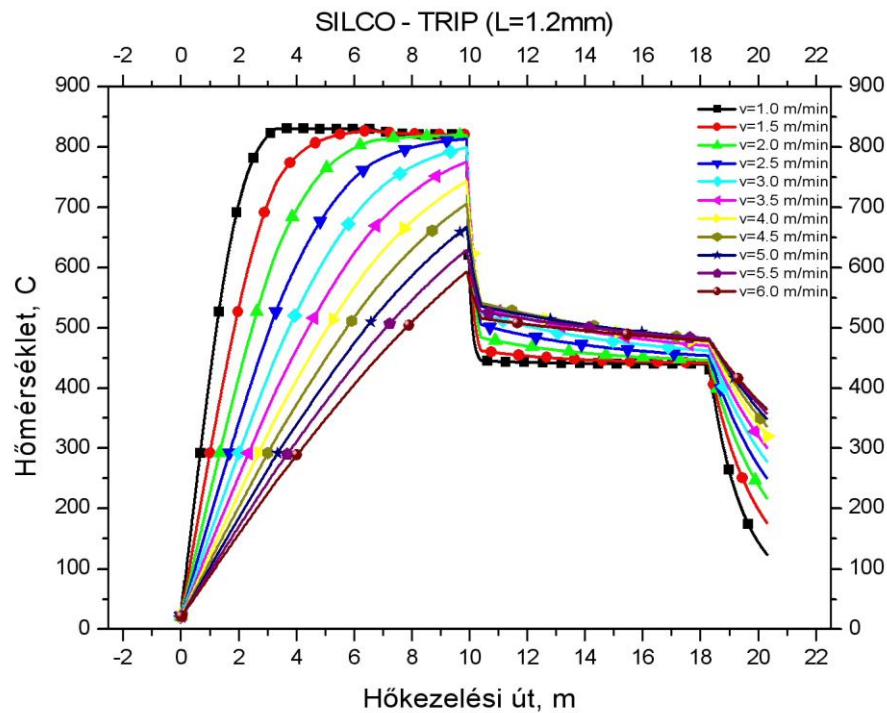
3. táblázat. A TRIP-AIP adag vegyi összetétele.

Mint látható, a Si nagy részét Al-mal illetve P-ral helyettesítettük. A legújabb irodalmi források szerint [6] [7] a SiAIP-ötvöztetésű TRIP-acél a legalkalmasabb tűzi horganyzásra. Értelmszerűen a TRIP-szalag interkritikus hőkezeléskor is a DP-acél hőkezelési paramétereinek meghatározására eredményesnek bizonyult stratégiát vettük alapul. Mivel a TRIP-acélok nagyobb összetételi változatosságot mutatnak irodalmi források szerint [1], mint a DP-acélok, ezért 5 különböző összetételű acéllal folytattunk előzetes kísérleteket.

A TRIP-acélok hőkezelésének specifikus lépése a részleges bénites átalakulás lezajlását biztosító izoterm szakasz beiktatása. Ehhez a hőkezelő berendezés fémfürdős (Pb-Bi-fürdő) hűtőelejét izoterm feltételeket biztosító, ún. IBS-szakasznak (isothermal bainitic section) kell követnie. Ennek hossza – adott szalagsebesség mellett – szintén döntő tényező a hőkezelési paraméterek meghatározásakor. Az izzító szakaszra, a Pb-Bi-fémfürdős hűtőszakaszra és az IBS-szakaszra vonatkozó modellezés eredményét a 8. ábra diagramjával szemléltetjük, míg a 4. táblázat a hőkezelt szalag mechanikai jellemzőit foglalja össze.

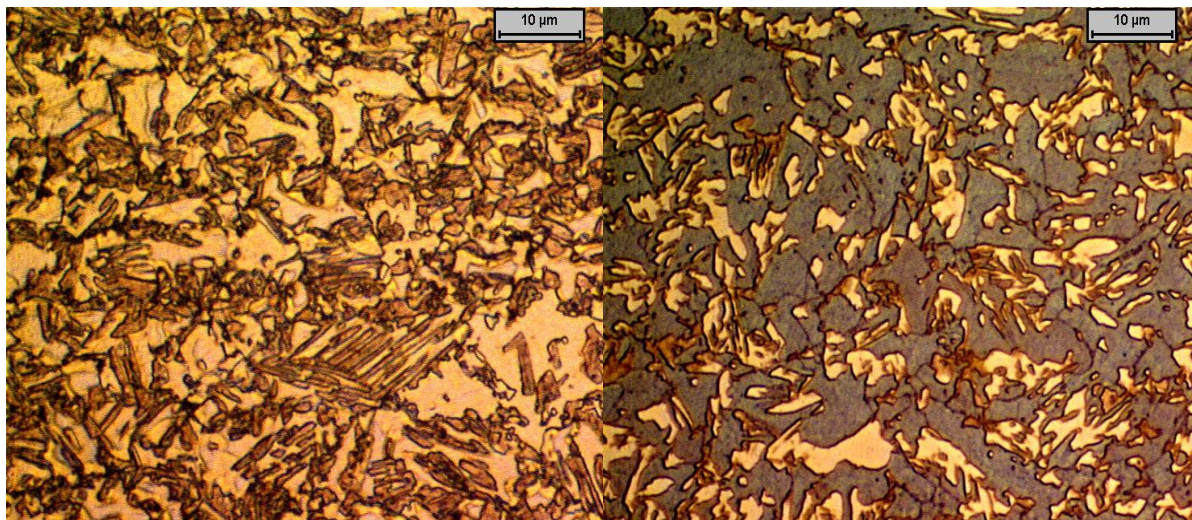
Folyáshatár $R_{p0,2}$ (N/mm ²)	Szakítószilárdság R_m (N/mm ²)	$R_{p0,2}/R_m$ -arány	Nyúlás A_{80} (%)
430	738	0,58	26,2

4. táblázat. A hőkezelt TRIP-szalag mechanikai jellemzői.



8. ábra. A TRIP-szalag ipari hőkezelési kísérleteinek számítógépes modellezési eredményei (számított hőmérséklet eloszlás a hőkezelési út és a húzási sebesség függvényében az Ebner hőkezelő soron).

A 9. ábra a TRIP-állapotú szalag szövét mutatja, szokásos 3%-os Nitálos és speciális, LaPera-maratás után.



9. ábra. A TRIP-állapotú szalag szövete, szokásos 3%-os Nitálos (bal oldalon) és speciális, LaPera-maratás (jobb oldalon) után. (N: 1250x)

Megjegyezzük, hogy a hőkezelt szalag maradék ausztenit-tartalma röntgendiffrakciós vizsgálatok szerint 12% körül volt, ami közel ideálisnak tekinthető.

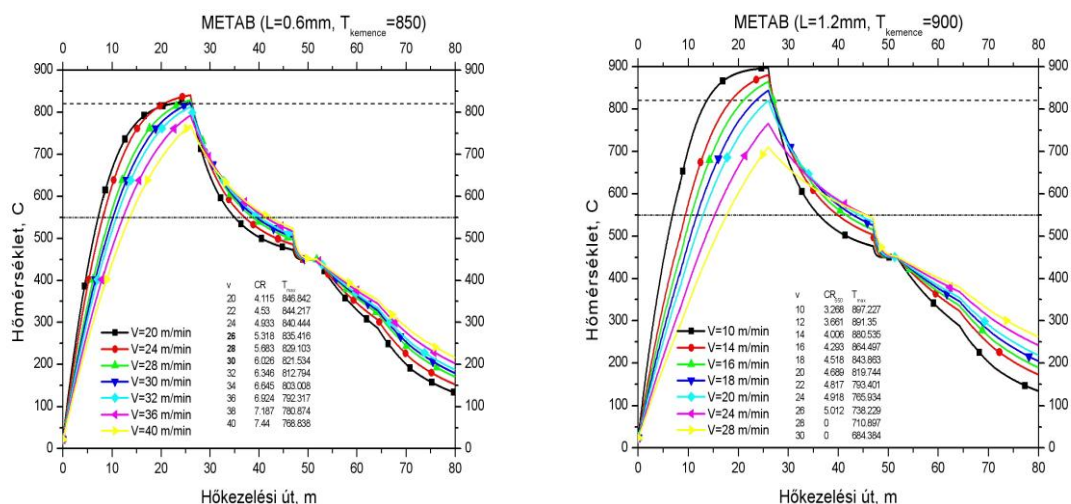
A kifejlesztett TRIP-acélszalag megfelel a TRIP700-as minőségnek. Vállalati szabványosítása csak a kutatás-fejlesztési programunkon kívül eső ok miatt nem történt meg: meg kell oldani a folyamatosan öntött acélbugáknak a tolokemencébe való hővesztés nélküli beadását a

felületi repedések elkerülése érdekében. A TRIP-acélok lényeges jellemzőinek tartjuk, hogy a tűzi horganyzás hőmérsékletén 460°C-480°C-on való „hőkezelés” hatására tulajdonságaik lényegesen nem változnak meg.

A kutatás-fejlesztési programunk kidolgozásakor a volt METAB Kft., ma a Dunafer Rt. Fémbevonó és feldolgozó művének Szendzimir-típusú tűzi horganyzó sorát csak mint folytatatólagos hőkezelő berendezést vettük figyelembe. Természetesen azonban, hogy e sor adottságait, elsősorban a horganyzókad paramétereit (pl. fürdőhőmérséklet) nem hagyhattuk figyelmen kívül. A hőkezelés paramétereinek megválasztásakor elsősorban azt a körülményt kell számításba venni, hogy ezen a soron a szalag sebessége egy nagyságrenddel nagyobb, mint a SILCO Rt. hőkezelő során. Ezért ebben az esetben a hőkezelés folyamatának kritikus lépése a kellő mennyiségű ausztenit létrejöttének feltételeit biztosító paraméteregyüttes meghatározása (kemence térhőmérséklet, lemezvastagság maximuma, húzási sebesség maximuma, stb.)

A már ismertett módszerekre és az üzemi tapasztalatokra támaszkodva készítettük el a Sendzimir-sor termikus modelljét, és ennek alapján választottuk ki a DP- illetve TRIP-szövetű állapothoz vezető paramétereket.

A matematikai modell az izzítási szakaszra nézve a 0,6 és 1,2 mm vastagságú szalag esetén a 10. ábra szerinti hőmérséklet-idő kapcsolatot jelezi.



10. ábra. Az izzítási szakaszra jellemző idő-hőmérséklet kapcsolat különböző lemezvastagságok esetén a húzási sebesség függvényében.

Az izzítási szakaszt követő lehűlés során két elképzelés szerint dolgozhatunk. Az első esetben a szalagot az izzító szakasztól kezdve fokozatosan úgy hűtjük, hogy az a horganyfürdőbe való belépés előtt a fürdő hőmérsékleténél mintegy 10-20°C-kal legyen melegebb, biztosítva a horganyzás ideális körülményeit. Ebben az esetben azonban nem biztos, hogy adott összetétel esetén elérjük a v_{kr} hűtési sebességet. DP-acél gyártáskor az is elképzelhető, hogy a szalagot nagyobb hőmérsékleten vezetjük be a horganyfürdőbe, így biztosítva a nagyobb lehűlési sebességet, tudomásul véve ugyanakkor, hogy a horganybevonat minősége nem lesz kifogástalan.

Mivel a kutatás-fejlesztési munkánk során mindvégig szem előtt tartottunk azt az igényt, hogy az előállított szalagok felhasználhatók legyenek, az első változat szerinti eljárási módot választottuk a kísérleti gyártáskor. A kísérleti gyártás paramétereit és eredményeit a 5. táblázatban foglaltuk össze.

		1. kísérlet	2. kísérlet	3. kísérlet	4. kísérlet
Szalag jellemzői	húzási sebesség (m/perc)	17	30	17	30
	vastagság (mm)	1,25	0,63	1,25	0,63
	szélesség (mm)	1010	1010	1010	1010
Termikus adatok	izzító szakasz hőm.(°C)	859-794	853-782	901-898	918-912
	cink fürdő hőm.(°C)	456	455	464	467
A hőkezelt szalag mechanikai jellemző	R _m	720	684		
	R _{p0,2}	495	483		
	A ₈₀	15,6	19,3		
	R _{p0,2} /R _m	0,69	0,71		
	R _m A ₈₀	11195	13204		

5. táblázat. A Sendzimir-típusú horganyzósoron végzett interkritikus hőkezelési kísérletek paraméterei és eredményei.

A táblázatban közölt eredmények alapján a DP-acélszalag interkritikus hőkezelési kísérletei a várakozást is meghaladó módon eredményesek voltak, és ez tette lehetővé a termék vállalati szabványosítását és piacra vitelét. A TRIP-szalag hőkezelési kísérletei csak részleges eredményre vezettek. Ennek alapvető oka az IBS-szakasz hiánya. A horganyréteg tapadása nem volt kielégítő: irodalmi források szerint ehhez az izzító és hűtőszakaszban lévő kemenceatmoszféra jellemzőit (elsősorban harmatpontját) kell módosítani. Hangsúlyozzuk azonban, hogy mártó- és folyamatos tűzi horganyzásra az általunk fejlesztett Si-Al-P-ötvöztetésű TRIP-acélt tartja a szakirodalom a leginkább alkalmasnak.

A többes fázisú és a TRIP-acélok tűzi horganyozhatóságának vizsgálata során további kérdések elemzését tartjuk szükségesnek, elsősorban a felületi oxidáció és az azt követő redukció részletes tanulmányozását, illetve ezek hatását tartjuk fontosnak.

A Sendzimir-soron hőkezelt és bevonatolt DP-szalagból ugyanis trapézbordás elemet is gyártottunk, amely könnyűszerkezetes épületek tetőfedésére szolgálhat. A DP-acélból készült trapézbordás elem fajlagos terhelhetősége lényegesen kedvezőbb, mint a lágyacélból gyártottaké.

Tételeken összefoglalva az eredményeket a következőben rögzíthetjük azokat:

1. A Dunafer Rt. és a SILCO Rt. közös vállalati szabványban rögzítette a hidegen hengerelt, interkritikusan lánnyított többes fázisú (DP) acél jellemzőit, és így ez a termék a felhasználók által megrendelhető termékként jelenik meg (2. melléklet).
2. A Dunafer Rt. vállalatai szabványban rögzítette a horganyzott DP-szalag paramétereit, így ez a termék is megjelent a piacon (3. melléklet).
3. Hazánkban először állítottunk elő TRIP-szövetű acélszalagot, amelynek tulajdonságai megfelelnek a TRIP700-as minőség nemzetközileg elfogadott követelményeinek. A TRIP-szalag vállalati szintű szabványosítása jelen kutatás-fejlesztési téma programjában nem vizsgált okok miatt nem vált lehetővé.
4. A melegen hengerelt állapotú mintegy 800MPa szakítószilárdságú szalagok esetén az R_{p0,2}/R_m-érték jelentős javulását értük el. Ez a mérőszám sok esetben átvételi kritériumként szerepel. A kifejlesztett DE700 minőségű nagyszilárdságú

finomszemcsés bénites acél előnyösen alkalmazható teherviselő acélszerkezetek gyártására.

5. Egységes szemléletű technikai elrendezést és technológiai megoldást dolgoztunk ki MP- és TRIP-acélok közvetlen meleghengerléssel történő gyártására. A javaslatunkat a Dunaferr Rt. a szokásos eljárás szerint először újítként értékeli, majd ennek alapján dönt a szabadalmi bejelentésről. Előzetes információink szerint javaslatunk kedvező elbírálásban részesült.

Az eddigiekben a kohászati félgyártmányok területén elért eredményeinket ismertettük. Ezek a féltermékek természetesen a kohászati üzemek számára készterméket jelentenek.

Ma már a kohászati üzemek is arra törekszenek, hogy minél nagyobb feldolgozottsági fokú, minél nagyobb hozzáadott értékű termékkel jelenjenek meg a piacon. Ezért a kutatás-fejlesztési program utolsó szakaszában megvizsgáltuk a tovább feldolgozás lehetőségeit is.

Amint már említettük, a folyamatos tűzi horganyzósoron előállított DP-szalagból trapézbordás lemezt készítettünk. A horganyzott DP-szalag az élhajlítást jól bírta. A DP-szalagnak a lágyacélhoz viszonyított mintegy 2,5-szeres folyási határa és mintegy 3-szoros szakítószilárdsága új épületszerkezetek biztonságos megvalósítását teszi lehetővé. A továbbfeldolgozott termékek előállítását célzó munkánk az autópályakorlát DP- vagy esetleg TRIP-acélból való előállítására koncentrált, hiszen ez a termék e fejlesztőmunka emblemikus termékének tekinthető, ha az NKFP-programunk utolsó szavait is szem előtt tartjuk, nevezetesen „az életminőség szolgálatában” szavakat. Amint arról a 16. részfeladat kapcsán végzett munkáról szóló beszámolómban részletesen szoltunk, a SILCO Rt.-ben hőkezelt 396 mm szélességű, 2 mm vastagságú DP-szalagból a Lemezfeldolgozó Kft.-ben korlátelemezeket gyártottunk, amelyeket a jelenleg is gyártott, és St.37-es acélból készült korlátelemekkel párhuzamosan az Autóipari Kutató-ban töréstesztnek vetettünk alá (lásd 11. ábra), míg a vonatkozó modellezést – néhány kiegészítő méréssel együtt – a BME Közlekedésmérnöki Karán Szabó Gyula adjunktus végezte el. Az eredmények nagyon kedvezőek, legyen itt elegendő a BME jegyzőkönyv néhány mondatát idézni:

„Elvégzett számításainkból megállapítható, hogy a vizsgált keresztmetszetű (MI szerinti, DIN szerinti „A” és „B” szelvény, valamint a „TUBOSIDER” szerinti) útkorlát elemek közül az emelt szilárdságú acélokból készült változatok sok szempontból igen kedvező fajlagos paraméterekkel rendelkeznek. Az emelt szilárdságú anyagok alkalmazása 33% anyagmegtakarítást tesz lehetővé lényegében változatlan, vagy kedvezőbb műszaki paraméterek mellett.

A vizsgált paraméterek alapján megállapítható, hogy a vékonyabb lemezből (2 mm), de magasabb szilárdsági tulajdonságokkal és jó nyúlóképességgel rendelkező duális fázisú és TRIP acélból készült szalagokkal épített korlátok a szerkezeti kialakításuknak megfelelő feltartóztatási lépcsőt képesek biztosítani.

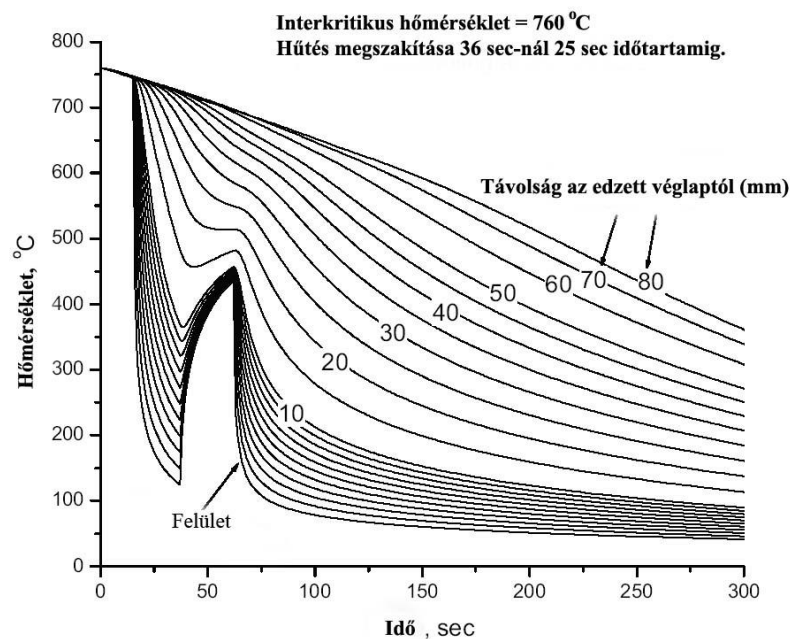
A korlátszalag esetében igen előnyösen érvényesül a magas szilárdság és a nagy nyúlóképesség hatása.

A lemezvastagság 1 mm-rel való csökkentése a korábbiakhoz képest korróziós szempontból nem jelenthet problémát, ugyanis a szóban forgó szerkezeti elem tűzihorganyzott.”

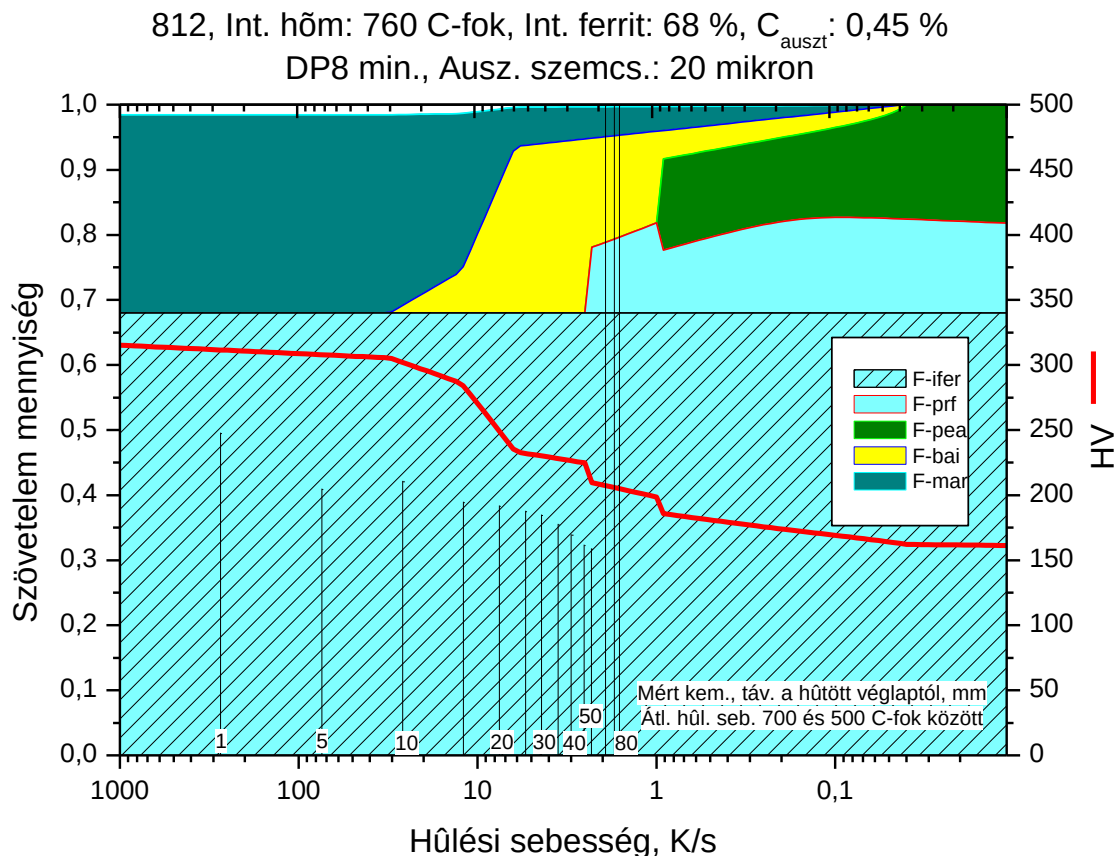


11. ábra. DP01-jelű acélból készült autópályakorlát-elem töréstesztje

A többes fázisú és TRIP-acélok kifejlesztése során számos műszaki-tudományos részletkérdés megoldása vált szükségessé. Ennek kapcsán számos, hazánkban eddig még nem alkalmazott eljárást dolgoztunk ki és alkalmaztunk sikerrel. Ezek között nemzetközi viszonylatban is új, vagy újszerű megoldások születtek. Nemzetközi viszonylatban is újak tekintjük az interkritikus hőmérsékletről végzett Jominy-vizsgálat nyújtotta információknak a többes fázisú és TRIP-acélok fejlesztésében való alkalmazását. Ez a módszer különösen azáltal vált hatékonná, hogy elkészítettük a megszakítás nélküli és a megszakításos (lásd. 12. ábra) – interkritikus Jominy – vizsgálat termikus modelljét és erre alapozva a szövetszerkezeti jellemzők és a keménység predikciós modelljét (lásd 13. ábra).



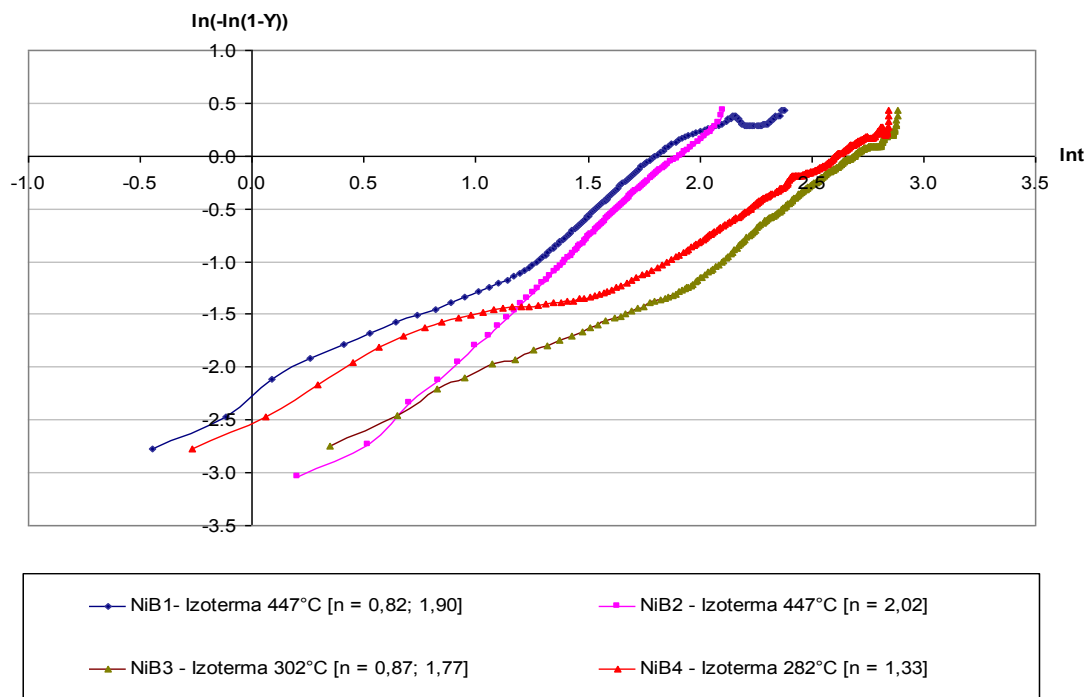
12. ábra. Megszakításos Jominy-vizsgálat termikus modellezését szemléltető diagram.



13. ábra. A DP01-jelű acél interkritikus Jominy-vizsgálattal meghatározott átalakulási diagramja.

Lényeges eredménynek tartjuk a folyamatos hőkezelő berendezésekben lezajló termikus és fémtani folyamatok leírására szolgáló program kifejlesztését, és a szövetszerkezeti jellemzők és a keménység számítására szolgáló modellek megalkotását, még akkor is, ha tudjuk ez a keménységre vonatkozó becslés az MP- és TRIP-acélok folyási határával kapcsolatban csak korlátozottan vehető figyelembe.

Ezekkel a fejlesztésekkel olyan eszközök birtokába jutottunk, amelyek segítségével a továbbiakban is hatékonyan tudjuk támogatni ipari vállalatok fejlesztő tevékenységét. Számottevő eredményeket értünk el a TRIP-acélokban lezajló bénites átalakulás Johnson-Mehl-Avrami-analízise segítségével. A vizsgálatunk alapvető célja az volt, hogy eldöntsük: az Avrami-kitevő alapján megállapítható-e, hogy az adott acélban a bénites átalakulás karbidok kiválásával, vagy anélkül zajlik le (14. ábra).

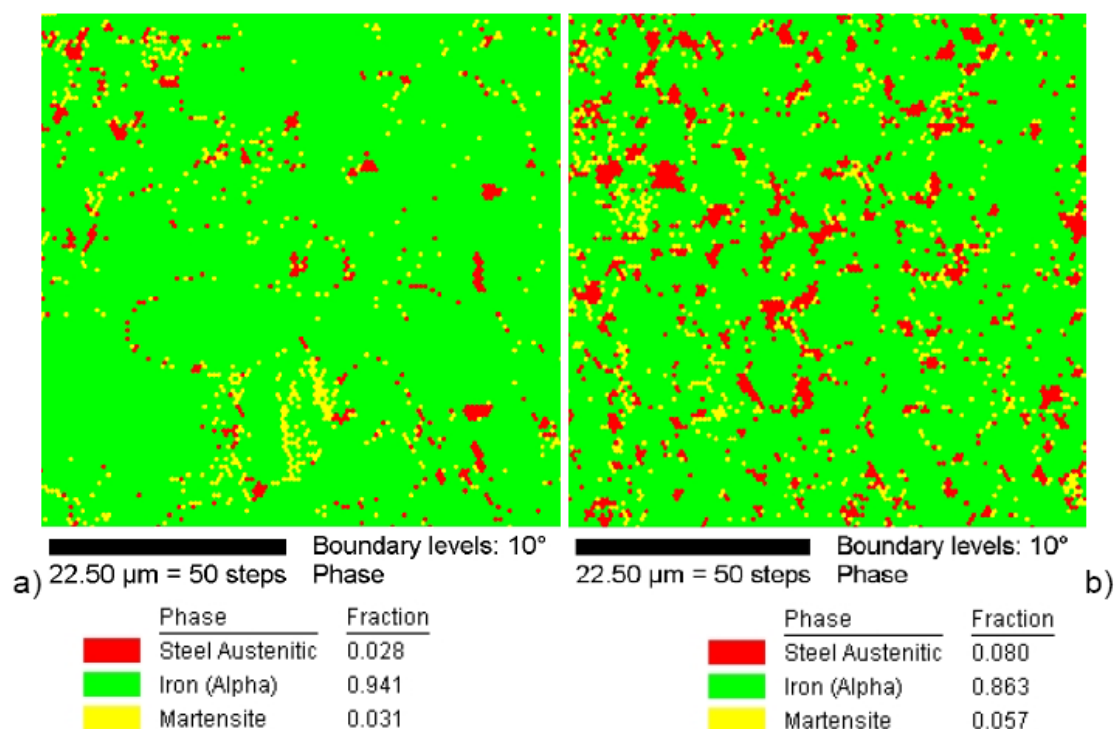


14. ábra. Bénites átalakulás kinetikájának vizsgálatához alkalmazott modellanyag bénitté való átalakulásának izoterm kinetikája és Avrami-egyenese.

E vizsgálatokhoz a THETA-dilatométer gázhűtő-rendszerét át kellett alakítani, mégpedig úgy, hogy a bénites átalakulás hőmérsékletére úgy tudjuk lehűteni a mintát, hogy abban a bénites átalakulás előtt ne induljon meg valamilyen más jellegű átalakulás.

A többes fázisú, elsősorban azonban a TRIP-acélok szövetvizsgálata számos problémát vetett fel. Hagyományos „maratási” módszerekkel a ferrit, a bénit, a martenzit és a maradék ausztenit nem különböztethető meg. E probléma megoldására használtuk LaPera-féle színes maratási eljárást (lásd.3., 9. ábrák) , amely kellő gyakorlat esetén alkalmasnak bizonyult az egyes szövetelemek elkülönítésére és mennyiségi jellemzők képelemző módszerekkel való jellemzésére.

Az EBSD-vizsgálatokat a BME ATT végezte a hazai gyártású TRIP-acélokon és egy referenciaként használt, Thyssen-gyártású TRIP-700 acélon. A vizsgálat célja az volt, hogy meghatározzuk a fázisok kétdimenziós eloszlását, és ezen keresztül az összetevő fázisok relatív mennyiségét. A kvantitatív elemzést az elektronnyaláb 500 nm-es lépésközű mozgatásával végeztük. A fázistérképen jól elkülönülnek a jellemző fázisok: az FKK ausztenit, a TKK ferrit és a tetragonális martenzit. A szóban forgó fázisok átlagos mennyisége: a hazai gyártású acélokból az ausztenit és a martenzit kb. 3–3%, a referenciamintában az ausztenit 8%, a martenzit 5,7% mennyiségben mérhető. A különféle módszerekkel mért értékek közötti eltérés a szokásos határon belül marad. A 15. ábra a SILCO Rt. és a Thyssen TRIP-700-as acél fázistérképét mutatja, a 6. táblázat pedig az EBSD-vel, ill. a röntgendiffrakciós vizsgálattal mért értékeket hasonlítja össze.

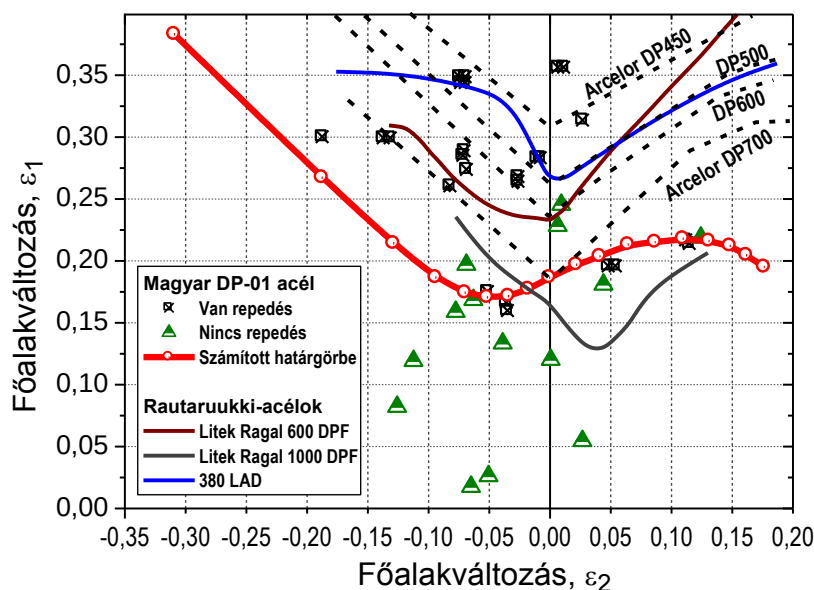


15. ábra. A SILCO TRIP-acél- és referencia minta EBSD-fázistérképe.

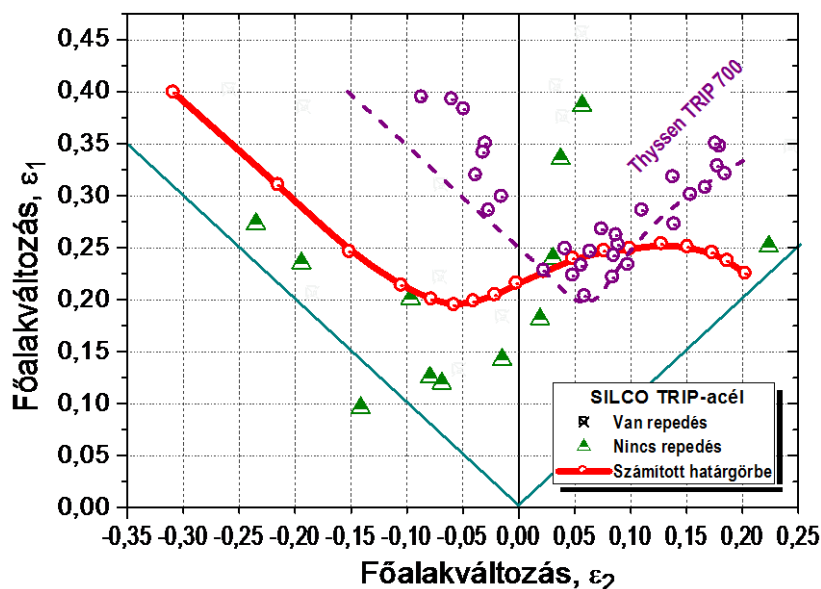
Minta jele	Röntgendiffrakció	EBSD
SILCO_TRIP – V2	9,7%	3,4%
SILCO_TRIP – V4	8,8%	2,8%
SILCO_TRIP – V6	10,1%	3,6%
METAB_TRIP – 2HKHM1	4,3%	2,4%
Thyssen TRIP-700	–	8,0%

6. táblázat. A mintákban mért maradék ausztenit mennyisége

Érthető okokból, különös figyelmet fordítottunk a kifejlesztett acélok alakíthatósági jellemzőinek és határalakváltozási-diagramjának meghatározására. Hiszen a többes fázisú acélok technológiai vizsgálatainak sorában kiemelkedő jelentőségű az alakíthatósági tulajdonságok meghatározása, mivel ezeknek az acéloknak az elsődleges feldolgozási technológiája a képlékeny hidegalakítás. Az alakíthatósági vizsgálatokat az ún. alakítási határgörbének Nakazima-próbák alakításával, valamint bemetszett szakítópróbateteknek az elszakításával vettük fel, ahogyan az a nemzetközi gyakorlatban szokás. Az alakítási határgörbék felvétele igazolta, hogy a magyar DP-acélok és TRIP-acélok minden tekintetben illeszkednek a külföldi gyártók termékeinek sorába, a DP-acélokra vonatkozóan az összehasonlítható határgörbéket (a finn Rautaruukki és a francia Arcelor acéljaival) a 16. ábra, a TRIP-acélokra pedig a 17. ábra mutatja.



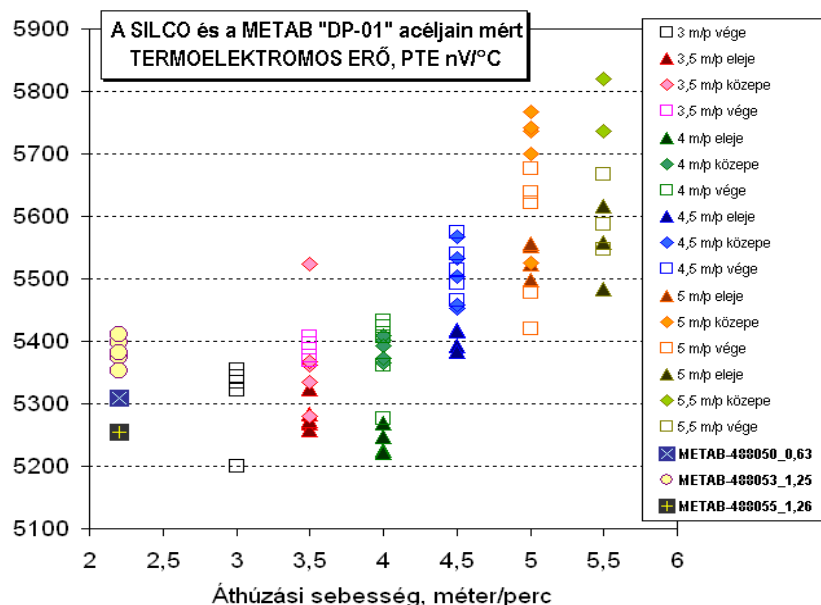
16. ábra. A Dunaferri Rt. DP-acéljának alakítási határgörbéje.



17. ábra. A SILCO Rt. TRIP-acéljának alakítási határgörbéje.

A projektben kitűzött feladatok végrehajtásához a BME ATT a kapott támogatásból beszerzett egy TechLab gyártmányú termoelektromos-erő mérésére szolgáló berendezést, amely nagyon érzékenyen képes kimutatni az acélokban lezajló, diffúzió vezérelte folyamatokat. A berendezés ára 34000 EUR volt, és 2003 tavaszán állítottuk üzembe. A projekt keretében előállított valamennyi kísérleti acélminta vizsgálatát elvégeztük, és az eredményeket felhasználtuk a végtermékek gyártási jellemzőinek pontosítására.

A DP-acélokon és a TRIP-acélokon végzett mérések igazolták, hogy a technológiai jellemzők – pl. az áthúzási sebesség és a tekercsek eleje, ill. vége közötti inhomogenitások – pontosan visszatükröződnek a termoelektromos jellemzők értékében. A termoelektromos mérési módszer tehát alkalmas a technológiai módosítások hatásának, ill. a különféle gyártási utakon kapott acélok finomszerkezeti eltéréseinek összehasonlítására. A 18. ábra a különféle szalagáthúzási sebességek hatását foglalja össze.



18. ábra. A SILCO Rt. és a Dunafer Rt. DP-acéljainak termoelektromos ereje.

Eredményesen használtuk az interkritikus hőkezelés közbeni modellezésre az indukciós hevítéssel működő hőkezelő egységet. A berendezés alkalmas arra, hogy a további, például mechanikai vizsgálatokra is alkalmas méretű próbatesteket hőkezeljünk.

Természetesen a fejlesztési munka során eddig nem említett vizsgálati módszereket is alkalmaztunk. Ezek közül megemlíthjük a replikás és vékony fóliás TEM-es vizsgálatokat, és a termo-analitikai vizsgálatokat. Ez utóbbi mérésekhez sikerrel használtuk a támogatásból beszerzett kiegészítő egységeket. Megemlíthjük továbbá, hogy a projekt során beszerzett végecselemes és egyéb szoftverek is elősegítették a projekt sikeres befejezését.

Amint a kutatás-fejlesztési téma műszaki és tudományos eredményei mutatják, a projekt az eredeti célkitűzésnek megfelelően zajlott le. Az 1.-16. részfeladatban megfogalmazott feladatok mindegyike teljesült, csak bizonyos a külső és technikai körülmények alakulása miatti határidő módosításra volt szükség. A konzorciumi tanács véleménye szerint az eredeti programhoz képest szakmai szempontból a következő eltérések adódtak:

1. Bár részletesen foglalkoztunk az orto- és paraegyensúly kérdésével termodinamikai szempontból, a vonatkozó szoftver kifejlesztésétől eltekintettünk, mert az ellenőrző mérések nem jeleztek a Mn-tartalom szignifikáns változását hőkezelés közben.
2. Csak egy nagyüzemi TRIP-adag gyártására került sor. A második adagot az AIP-ötvöztetésű TRIP adag folyamatosan öntött bugáinak nagy repedési hajlama miatt nem láttuk célszerűnek legyártani, hiszen korábbi tapasztalatok szerint a SiMn-ötvöztetésű acélok bugái is nagy repedési hajlamot mutattak. A második nagyüzemi adag gyártásának elmaradását 5 félüzemi TRIP-adag legyártásával helyettesítettük. Az ezekkel a minőségekkel végzett kísérletek a TRIP-acélok széles választékának lehetőségéről adtak információt.
3. A vékony, 2 mm körüli, melegen hengerelt szalag gyártására programozási okok miatt csak 2005. június 23-án került sor. A kísérleti gyártásból származó hasított szalagok interkritikus hőkezelésére 2005. július hó folyamán kerül sor. Ez a munka azonban már átvezet a konzorciumi tagok további együttműködésére.

Ezek az eltérések azonban a téma végső céljának megvalósulását sem nem késleltették, sem nem hátráltatták, amint azt a 16. részjelentésben foglaltak meggyőzően bizonyítják.

2. A költségterv és pénzfelhasználás viszonyának bemutatása

Az elfogadott pénzügyi tervtől a megengedettnél nagyobb mértékű eltérésre nem volt szükség. Megemlítjük ugyanakkor, hogy a pályázat benyújtásakor még nem látható szervezeti változások a projekt finanszírozásában nehézséget jelentettek. Gondolunk itt elsősorban a Dunaferr vállalatcsoportnál bekövetkezett szervezeti és tulajdonosi változásokra. A konzorciumi tagoknak ezért a projekt sikeres és határidőre való teljesítése érdekében a költségeket meg kellett előlegezniük. A pénzügyi tervezet és tényleges költségeinek alakulását a 7. táblázat tartalmazza.

A projekt tervezett és tényleges költségei				
	Terv (az eredeti szerződésben)		Tény	
	M Ft	%	M Ft	%
Alap kutatás	15,75	15	15,75	15
Alkalmazott kutatás	73,5	70	73,5	70
Kísérleti fejlesztés	15,75	15	15,75	15
Összesen	105	100	105	100

Projekt időtartama	Terv	Tény
(hónapokban kifejezve)	36	36

7. táblázat. A projekt tervezett és tényleges költségei.

3. Az eredmények gazdasági és társadalmi hasznosíthatósága

A többes fázisú acélok kifejlesztése rövid című NKFP-pályázat műszaki-tudományos céljának meghatározásakor, illetve a konzorcium összetételének meghatározásakor az volt az alapelv, hogy a konzorcium tagjai az innovációs folyamat minden egyes elemét képviseljék, biztosítsák azt, hogy a K+F-munka eredménye piacképes termékben valósuljon meg. A konzorcium tagjai ezt az alapvető célt is meghaladva, továbbfeldolgozott és így nagyobb hozzáadott értékű termékekhez is eljutottak, megemlítve itt a DP-szövetű, horganyzott trapézbordás épületelemet, vagy a DP-szalagból készített közúti vezetőkörlát-elemet. A projekt során elért eredmények több szinten hasznosultak. Ezek a következők:

- Vaskohászati termékek
- Továbbfeldolgozott vaskohászati termékek
- Szellemi termékek
- Szakmai és tudományos továbblépés
- Nemzetközi kapcsolatok

A vaskohászati termékekkel kapcsolatban csak azt emeljük ki, hogy a fejlesztés eredményeképpen hazai vaskohászati vállalataink termékínálatában több, nagy hozzáadott értékű acélminőség jelent meg, ezek felsorolásszerűen a következők:

- DE700 típusú melegen hengerelt, nagy szilárdságú, finomszemcsés bénites acél.
- DS-DP580 és a DS-DP750 típusú kettős fázisú, hidegen hengerelt és interkritikusan hőkezelt szalag. Ez a termék a Dunafer Rt. és a SILCO Rt. közös vállalati szabványában szerepel már (DASZ219).
- Folyamatos tűzi horganyzással bevonatolt DP-szövetű acélszalag. Ennek vállalati szabványa a DASZ218 jelet viseli.

Ezeknek a termékeknek az értékesítése a Dunafer Rt. és a SILCO Rt. marketing és kereskedelmi hálózatának a feladata. Ebben a folyamatban a rendszeresen szervezett gyártók-felhasználók találkozóknak jelentős szerepük van. Ezeken a találkozókön a fejlesztésben résztvevő műszaki szakemberek is részt vesznek, ismertetve az új termékek kínálati lehetőségeket, érzékenyen reagálva a felhasználói oldal megjegyzéseire is.

További vaskohászati termékek piacra vitele várható a közeljövőben: a hidegen hengerelt, és interkritikus hőkezeléssel előállított TRIP-szalagot, és az interkritikus sajtolásra alkalmas melegen hengerelt szalagot említjük meg.

A továbbfeldolgozott vaskohászati termékek körében a trapézbordás burkolóelem az eddigi kedvező felhasználói tapasztalatok alapján szélesebb körben is elterjedhet, hiszen az anyagmegtakarítás mértéke jelentős (10-30%). A kisebb önsúly és a nagyobb terhelhetőség egyaránt kedvező irányába mutat.

A közúti vezetőkorlát-elem piaci bevezetése minden bizonnyal hosszabb időt vesz igénybe. Ennek elsősorban az az oka, hogy ennek a terméknek a bevezetése szigorú előírások által szabályozott. A minősítő vizsgálatok költsége is jelentős, mintegy 50-60 millió forintnyi. Így az a gyártó cég, amely rendelkezik valamely típusra a megfelelő minőségtanúsítvánnyal, érthető módon, az adott termékkel kíván piaci sikereket elérni, és nem sűrgeti valamely új acélminőségből gyártott korlát idő előtti piacra vitelét.

Az eddig felsorolt termékek piacra vitelét a Dunaferri-vállalatcsoport és a SILCO Rt. kereskedelmi szakemberei saját, jól kiépített hálózatukon keresztül oldják meg, amely tevékenységben a fejlesztésben résztvevő műszaki szakemberek támogatására építhetnek. Jelen K+F-munka során és ennek eredményeképpen létrejött újítás, illetve szabadalmi bejelentés ügyintézése a Dunaferri Rt. innovációs részlegének segítségével, a szokásos rend szerint folyik. A megleghengermű tervezett rekonstrukciójakor az újítási javaslatban megfogalmazottakat, elsősorban a hűtőpad kiosztására és a csévézők elhelyezésére vonatkozókat javasoljuk figyelembe venni.

A vaskohászati és a továbbfeldolgozott termékek várható piaci sikerének egyik fokmérője lehet az elért eredmények nemzetközi visszhangja, illetve az a körülmény, hogy nemzetközi viszonylatban találkozunk-e hasonló célú törekvésekkel. E szempont alapján is sikeresnek tartja a konzorcium a K+F-munkát, hiszen a közúti vezetőkorláttal kapcsolatos eredmények tették lehetővé, hogy a Dunaferri Rt., és annak alvállalkozójaként a BAYATI csatlakozzon az olaszországi CSM kutatóintézet "Competitiveness improvement of steel-based road features" című tervezett programjához. A CSM kutatóintézet programfelelőse a DP-acéllal kapcsolatos fejlesztési eredményeinket értékelte a tervezett munka szempontjából jelentősnek.

A kifejlesztett új generációs, nagy hozzáadott értékű többes fázisú és TRIP-acélok csak akkor járulnak hozzá az életminőség javulásához, ha azokat széles körben alkalmazzák. Addig, míg a tervező mérnök az anyagválasztáskor egy adott esetben ezek mellett az acélok mellett dönt, viszonylag hosszú az út. Ennek az útvonalnak lehetőség szerinti lerövidítése miatt tartotta a konzorcium alapvetőnek, hogy minél több fiatal ismerje meg ezeknek az acéloknak a felhasználói tulajdonságait. A konzorcium több tagja tartott egyetemi előadást e témában, témalaborban foglalkoztak a hallgatók ezekkel az acélokkal, és talán ez a legfontosabb, több diplomaterv és PhD-dolgozat is készül illetve készült ebben témakörben. Az elért eredményekről számos hazai és külföldi rendezvényen számoltunk be, a konzorcium tagjai által megtartott előadások jelentős része konferenciakötetben is megjelent (lásd 4. melléklet). A konzorcium tagjai nyilatkozatban erősítették meg az adott területen folytatandó további közös munka iránti elkötelezettségüket, ami a lezáruló munka eredményességének egyik visszatükröződése (lásd 5. melléklet).

4. Összefoglaló értékelés

A konzorciumi tagok egyhangú véleménye szerint, a Többes fázisú acélok kifejlesztése rövid című NKFP-téma az eredeti célkitűzéssel teljes összhangban lévő eredményre vezetett: a hazai technikai adottságokra építve és a nemzetközi együttműködés során kibővült szakmai-tudományos ismereteinkre támaszkodva tudatosan kidolgozott technológiával nagyüzemi körülmények között gyártottunk többes fázisú és TRIP-acélt. A többes fázisú acélszalagokból autópálya-korlátelemet gyártottunk, melynek fajlagos jellemzői az St37 típusú acélból készített korlátelemekhez viszonyítva mintegy 1,5x (150%) kedvezőbbek. Hasonlóan előnyös tulajdonságú a DP-szövetű és bevonatolt trapézbordás borítóelem. A kísérleti gyártásból származó szalagot ilyen termékként feldolgozva közvetlenül értékesíteni lehetett.

A kutatás-fejlesztési program a vonatkozó szerződésben rögzített 16 részfeladatnak megfelelően futott végig, néhány kisebb határidő módosítással. A programot 2005. június 30-án befejezzük, de az 5. mellékletben bemutatott nyilatkozatok azt jelzik, hogy a konzorcium tagjai továbbra is együtt kívánnak működni ezen a területen.

A kutatás-fejlesztési téma kapcsán cikkek, előadások, TDK-dolgozatok, témalabor-jegyzőkönyvek és diplomatervek születtek. Különösen fontosnak tartottuk, hogy a kifejlesztett korszerű acélokkal minél több fiatal szakembert megismertessünk. Ez a törekvés jól tükröződik abban a tényben, hogy 5 diplomaterv, TDK-dolgozat és témalabor-jegyzőkönyv született eddig, és további hasonló jellegű munkák is folyamatban vannak.

A „Többes fázisú acélok kifejlesztése” rövid című NKFP-téma kidolgozására hattagú konzorcium vállalkozott. A konzorcium tagjai a munka megindulásakor a következők voltak:

- Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Alapítvány Bay Zoltán Anyagtudományi és Technológiai Intézete
- Dunafer Rt.
- Acélművek Kft.
- METAB Kft
- BME Anyagtudományi és Technológiai Intézet
- SILCO Rt.

A BAYATI adta a konzorcium vezetőjét. Ennek megfelelően tevékenysége elsősorban a munka koordinációjára irányult. Meghatározó szerepe volt a vizsgált folyamatok matematikai modellezésében, és ezzel összefüggésben a kutatási stratégia kidolgozásában.

A konzorciumi tagok száma a Dunafer-vállalatcsoportnál bekövetkezett szervezeti változások miatt kettővel csökkent: az Acélművek Kft. beolvadt anyavállalatába, a Dunafer Rt.-be, amely a Kft. összes szerződéses kötelezettségét átvállalta. A METAB Kft. végelszámolással megszűnt 2004. január 1-jével, a tevékenységét a Dunafer Rt. keretében, mint Fémbevonó és Feldolgozó Mű tovább folytatja. Meghatározó termelő berendezésének, a Sendzimir-típusú folyamatos horganyzósnak a bérleti szerződését a Dunafer Rt. felmondta, és így saját szervezetén belül a volt METAB Kft. alkalmazottjainak átvételével folytatja tovább tevékenységét. A hat konzorciumi tag az innovációs lánc teljes egészét átfogja az alapkutatással foglalkozó egyetemi tanszéktől kezdve az alkalmazott kutatás végzésére hívatott intézeten keresztül egészen a termelő vállalatokig.

A téma kidolgozása során néhány esetben neves hazai és külföldi szakembereket is bevontunk a munkába és – főleg a projekt záró szakaszában – további kutatóhelyek (Autóipari Kutató Kft., BME Közlekedésmérnöki Kar, Lemezalakító Kft., ME Anyag és Kohómérnöki Kar Fémtani és Alakítástechnológiai Tanszék) is jelentős mértékben járultak hozzá a konzorcium munkájához.

A konzorciumi tagok együttműködése a műszaki problémák, feladatok megvalósításakor mintaszerű volt. Az átlagosan negyedévenként megtartott konzorciumi tanácsuléseken részletesen elemeztük az előző periódusban végzett munka eredményeit, az esetleges elmaradások pótlásának lehetőségeit. Minden esetben jegyzőkönyvben rögzítettük a tárgyalt témákat, határozatokat. A projekttanács ülésének jegyzőkönyveit a téma szerves részének tekintjük, és a 16 db jegyzőkönyvet a projekt zárásakor a konzorciumi tagoknak fizet formájában is átadjuk.

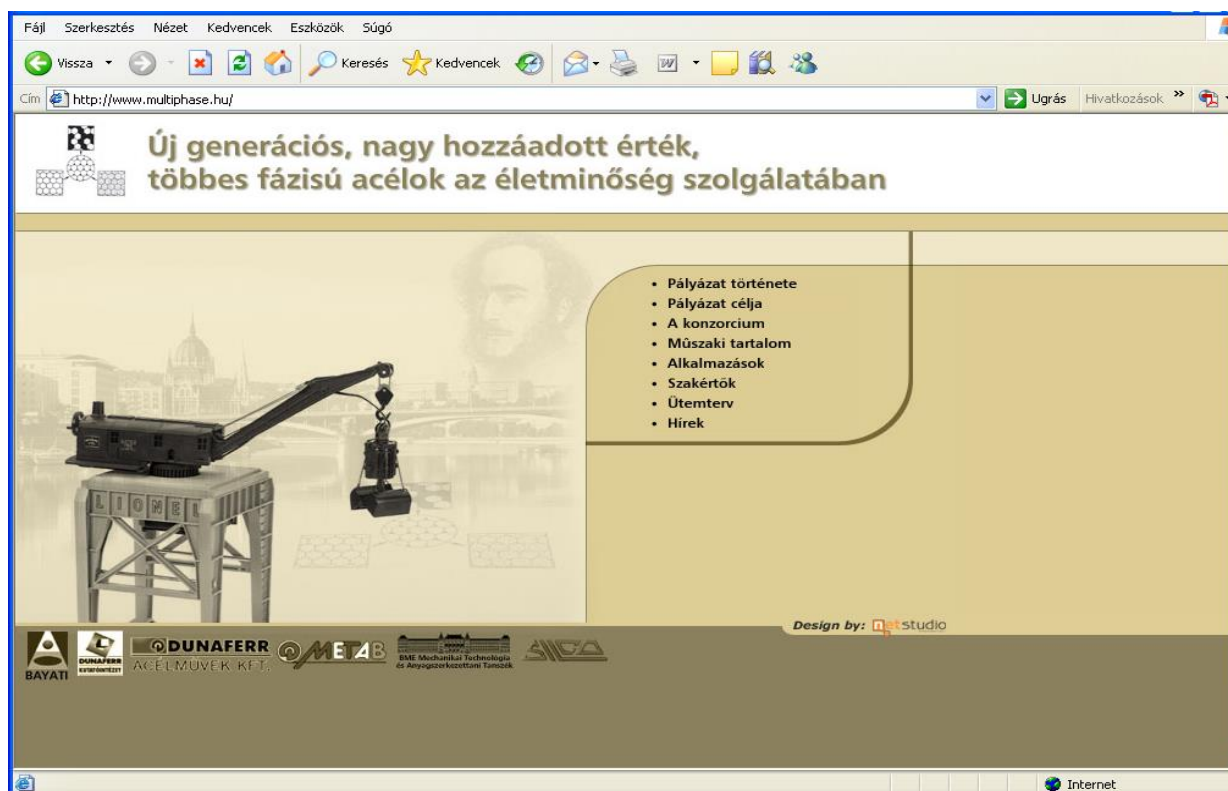
A konzorcium egyes tagjainak teljesítményét külön-külön nem tartom helytállónak értékelni. Azt azonban hangsúlyozni kívánom, hogy a Dunaferri-vállalatcsoport műszaki szakemberei és az adminisztrátori feladatokat ellátó kollegái a szervezeti változások miatt beállt átmeneti helyzetekben legjobb tudásuk szerint törekedtek a nehézségek áthidalására. A SILCO Rt. vezetői és munkatársai minden esetben nagy gonddal készítették elő a kísérleti hőkezeléseket, feladatokat nagy szakmai hozzáértéssel, mindig pontosan határidőre teljesítették.

A BME Anyagtudományi és Technológiai Intézetének, illetve a tanszékhez kötődő akadémiai kutatócsoport tagjai már a projekt megfogalmazásakor is aktivitásukkal tűntek ki, és széleskörű kapcsolatrendszerük kapcsán a projekt befejező szakaszában is fontos szerepet játszottak. E helyütt szomorú kötelességünknek tartjuk, hogy megemlékezzünk Ziaja György professzor úrról, aki ez év tavaszán váratlanul elhunyt. Az ő szerepe meghatározó jelentőségű volt az alakíthatósági vizsgálatok megtervezésében, végrehajtásában és a mérési eredmények értékelésében. Halálával a képlékeny alakítással foglalkozó szakmaterület pótolhatatlan veszteséget szenvedett.

A projekt feladatok kidolgozása során olyan kapcsolatrendszer alakult ki, amely további együttműködés zálogát jelenti. A további együttműködés lehetőségeit jelzik a konzorciumi tagok nyilatkozatai is (lásd 5. melléklet). A további együttműködés területei is kirajzolódtak. Az egyik terület a többs fázisú és TRIP-acélok teljes termékválasztékának kifejlesztése, míg a másikat az olaszországi CSM kutatóintézet által kezdeményezett projekt, amely speciális acéllemezekből (nagyobb szilárdságú, vagy keményedőképességű stb.) és esetleg speciális bevonattal ellátott autópálya elemek (pl. korlát) kifejlesztésére irányul. Felhasználói érdeklődés esetén DP-acélok interkritikus hőmérsékletéről végzett melegsajtolásával kapcsolatban is lehetőséget látunk egy új projekt javaslat kidolgozására.

Végezetül – és ezt a gondolatot azért hagyjuk a végére, mert lényegesnek tartjuk – a konzorciumi keretek között végzett kutatás-fejlesztési munka demokratikus jellegét emeljük ki: A „minőségbiztosítás” egyik eszközének tartottuk a feladatok közös megbeszélését, az elért eredmények értékelését, az alkalmazott módszerek, eljárások esetleges kritikáját, a folyamatos két- és többoldalú konzultációkat. Az is nyilvánvaló, hogy a hazai intézmények és vállalatok részvételével konzorciumi keretek között végzett kutatás-fejlesztés a hasonló jellegű nemzetközi projekteken való részvétel előiskolájának tekinthető. A „Többs fázisú acélok kifejlesztése” című téma konzorciumának tagjai ezt az iskolát sikerrel kijárták.

A konzorciumi tanács 2003 elején döntött a projekt honlapjának elkészítéséről. A honlap címe a <http://www.multiphase.hu>. A konzorcium tagjainak tapasztalata szerint talán hasznosabb lenne a projekt befejező szakaszában, vagy éppen annak lezárása után az elért eredményeknek a világhálón való megjelenítése. Ezért a konzorcium tagjai a honlapnak a projekt lezárása utáni működtetésének lehetőségét megvitatták. Az is megoldást jelenthet, ha a vállalatok, intézmények honlapján e téma eredményét bemutató felületeket alakítunk ki. Ezt a feladatot részben áthidalja az a körülmény, hogy a Dunafer Rt. és a SILCO Rt. termékválasztékában megjelentek a kifejlesztett acéltípusok, és így ezek a fenti két cég honlapján megtalálhatók.



19. ábra. A www.multiphase.hu honlap kezdőoldala.

Köszönetnyilvánítás

A Többes fázisú acélok kifejlesztése rövid című NKFP-téma eredményes befejezésekor megköszönjük az Oktatási Minisztérium Kutatás-fejlesztési Pályázati és Kutatáshasznosítási Irodájának a sokoldalú támogatást, amely a 100 millió Ft-ot meghaladó támogatás biztosításából, a benyújtott pályázat értékeléséből, a benyújtott dokumentumok szakmai bírálatából, a pénzügyi elszámolások kontrolljából és a konzorciumi tagvállalatok szervezeti felépítésében bekövetkezett változások során fellépő speciális jogi kérdések hatékony és korrekt kezelésében öltött testet. Bízunk abban, hogy e projekt kapcsán végzett munka jellege és eredményei a pályázatot kiíró szervezet elvárásaival összhangban vannak.

Verő Balázs
konzorciumvezető

Irodalom:

- [1] W.Bleck,A.Frehn,J.Ohlert: Niobium in Dual Phase and TRIP Steels, Proc.of the Int. Symposium Niobium 2001, Florida, USA, pp.727-752.
- [2] J.S.Gau,J.Y.Koo,A.Nakagawa and G.Thomas: Microstructure and Properties of Dual-phase Steels Containing Fine Precipitates, Fundamentals of Dual-Phase Steels, AIME, Chicago, Illinois, Feb.23-24,1981.
- [3] E.Girault,P.Jacques,Ph.Harlet,K.Mols,J.Van Humbeeck, E.Aernoudt, F.Delannay: Metallographic Methods for Revealing the Multiphase Microstructure of TRIP-Assisted Steels, (Materials Characterisation 40:111-118 (1998); Elsevier, 1998.
- [4] J.C. Morales,C.Garcia,R.Colás: Modelling the austenite to ferrite transformation in low carbon steel strip, MD-Vol.67, ASME 1995, pp.45-55.
- [5] Proceedings of the 24th International Deep-Drawing Research Group Congress, IDDRG'2005, June 20-22, 2005, Besancon, France
- [6] S.Zaefferer,J.Ohlert,W.Bleck: A study of microstructure, transformation mechanisms and correlation between microstructure and mechanical properties of a low alloyed TRIP steels, Acta Materialia 52 (2004) 2765-2778.
- [7] J.Mahieu,J.Maki,S.Claessens,B.C.De Cooman: Hot Dip Galvanizing of Al Alloyed TRIP Steels, 43rd MWSP CONF. PROC., ISS, Vol.XXXIX,2001.

Megjegyzés: A hivatkozások között csak néhány külföldi hivatkozást soroltunk fel. Saját publikációinkra és részjelentéseinkre vonatkozó hivatkozásoktól eltekintettünk. A témával kapcsolatos publikációk és dolgozatok adatait a 4. sz. melléklet tartalmazza.