

Villamos sínek felrakóhegesztése előmelegítés nélkül

Sándor Tamás

ESAB Kft., H-1065 Teréz krt. 53-57., C lépcsőház, II. emelet, tamas.sandor@esab.hu

Absztrakt: A nagyvárosi tömegközlekedés fő ütőerét képező villamoshálózat folyamatos terhelése állandó karbantartást követel az üzemeltető vállalatok részéről. Ennek a tevékenységnek egyik legfontosabb eleme a vágányhálózat hegesztéssel történő karbantartása és javítása. Jelen cikk az elkopott villamos sín oldalfalak és futófelületek előmelegítés nélkül történő felrakóhegesztési feladatait és ezek problémáit mutatja be az elvégzett kísérleteken keresztül, amelyet legvégül a kapott eredmények alapján tett javaslatok zárnak.

Kulcsszavak: villamos sín, előmelegítés nélküli felrakóhegesztés, hőhatásövezet keménység, sín oldalfal

1. Bevezetés

A Földön 2006-ban 1 400 998 km volt a vasútvonalak hossza, amely hálózaton összesen 149 ország osztozott. A vasútvonalak szerinti sorrendben Magyarország az igen előkelő 26. helyet foglalja el 7960 km (2008) hosszú sínpályájával, amelyből 7511 km (2008-ban) a vasúthálózaté, a többi pedig villamosaink, metróink, külvárosi vasútjaink és kisvasútjaink pályahossza. Ez a vasúti pályahossz 2008-ban 141,5 millió utas szállítása során 8145 millió utaskilométert szolgált. [1]

Könnyen belátható tehát, hogy egy ekkora „acélszerkezet” biztonságos üzemeltetése nagyon fontos feladat. A biztonságos üzemeltetés egyik elengedhetetlen alapköve a felújítás és a karbantartás. Ma Magyarországon számos felújítási munka zajlik. A vasúthálózat korszerűsítése Sopron és Szentgotthárd között várhatóan 2011-re, Szajol és Püspökladány között (67,8 km-en) 2013-ra fejeződhet be. Elinult a Budapest—Székesfehérvár közötti pálya szakaszos felújítása is, amelynek legutóbb elfogadott projektje a Budapest-Kelenföld—Tárnok közötti vasúti pálya teljes korszerűsítése. Az idén indul a két legjelentősebb villamospálya felújítás is

Debrecen és Miskolc városában, ahol a teljes sínrendszer cseréje zajlik majd, sőt Debrecenben a villamospálya Józsaig történő kiépítésével ez egyben bővítés is lesz, valamint hamarosan befejeződik Szegeden a most zajló felújítás és bővítés.

A sínpályák átlagos tervezési élettartama 15-20 év, amelynek tényleges értékét nagyon sok tényező befolyásolja. A sín alapanyagától, gyártástechnológiájától, kialakításától kezdve a beépítés technológiáján és körülményein, a felépítmény rétegrendjén és vastagságán át egészen a lefektetett pálya környezeti és forgalmi terheléséig. Mindezt tovább befolyásolja a vonalra tervezett forgalom változása (a növekedése csökkenti, a csökkenése pedig növelheti az élettartamot), amely az említett 15-20 év alatt könnyen megtörténhet. Így lehetséges, hogy a bécsi villamospálya átlagos élettartama 25 év, míg Budapesten a nagykörúti „4-es 6-os” vonalát – amely 2008-ban Európa legsűrűbben közlekedő villamosa volt – legutóbb 10 év után kellett felújítani.

Egyértelmű tehát, hogy a karbantartási technológia is rendkívül fontos a sínpályák üzemeltetéséhez. Ennek egyik legfontosabb művelete az elkopott felületek felrakóhegesztéssel történő javítása. A felrakóhegesztés technológiája azonban nagyban függ a felrakni kívánt alapanyagtól és a terhelés jellegétől, illetve az alkalmazható technológiától. Jelen dolgozat a fenti témakör egy szűk területét, a pályáívekben elhelyezett Phoenix típusú villamos sínek felrakóhegesztését vizsgálja.

1.1. Sín alapanyagok és azok tulajdonságaik

A sín a vasút legegyszerűbb mégis egyik legfontosabb eleme, amely tulajdonságai az adott pályaszakasz minden tulajdonságát jelentősen befolyásolja. Érthető hát, hogy a sínek folyamatos fejlesztése a XVI. századbeli fa nyompályáktól kezdve, a kezdetleges öntöttvas pályákon (1767) és sínprofilokon (1832 – Vignoles), majd az első hengerelt acélsíneken (1865) át a legkorszerűbb alacsony karbontartalmú bénites szövetszerkezetű sínalapanyagokig.

A ma leggyakoribb – kereskedelembe is elérhető – alapanyagokat az 1. táblázat mutatja be.

Általánosságban elmondható róluk, hogy magas karbontartalommal ($C \geq 0,4\%$) rendelkeznek és elsősorban perlites szövetszerkezetűek. Ezt Cr, Mo, V és ritkán Co, B ötvözés egészíthet ki a nagyobb szilárdság és kopásállóság érdekében. A múlt század során szinte kizárólag perlites szövetszerkezetű sínek kerültek beépítésre a világ vasúti pályarendszereibe, míg a legutóbbi évtized során sikeres kísérletek eredményeként elkezdtek megjelenni az alacsony karbontartalmú bénites szövetszerkezetű sínacélok. Mindegyik sínacél jellemzője, hogy nagy szilárdság mellett jó kopási ellenállást mutat a vonatkerék okozta nyomó és súrlódó – ún. fém a fémen koptató – igénybevétellel szemben.

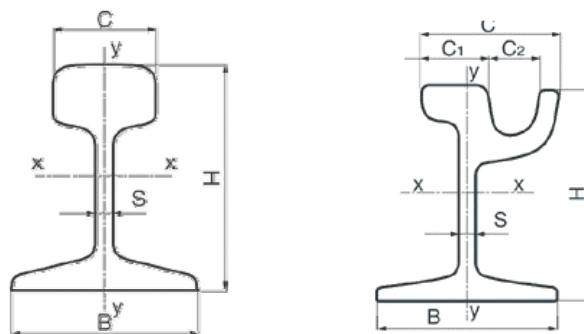
1. táblázat A leggyakoribb sín alapanyagok besorolása, vonatkozó szabványa, vegyi összetétele és mechanikai tulajdonságai

Steel grade	Specification	Chemical composition %								Rm MPa	A5 % min.	Hardness in the middle of traversing surface HBW
		C	Mn	Si	P max.	S max.	V max.	Cr	Mo max.			
700	UIC860-V	0.40- 0.60	0.80- 1.25	0.05- 0.35	0.050	0.050	-	-	-	680-830	14	-
900A	UIC860-V	0.60- 0.80	0.80- 1.30	0.10- 0.50	0.040	0.040	-	-	-	880-1030	10	-
900B	UIC860-V	0.55- 0.75	1.30- 1.70	0.10- 0.50	0.040	0.040	-	-	-	880-1030	9	-
1100	UIC860-V	0.62- 0.82	0.80- 1.30	0.30- 0.90	0.030	0.030	-	0.80- 1.30	-	min.1080	9	-
R 220	EN13674-1	0.50- 0.60	1.00- 1.25	0.15- 0.60	0.025	0.025	0.030	max. 0.15	-	min. 770	12	220-260
R 260	EN13674-1	0.60- 0.82	0.65- 1.25	0.15- 0.60	0.025	0.030	0.030	max. 0.15	-	min. 880	10	260-300
R 260 Mn	EN13674-1	0.55- 0.75	1.25- 1.75	0.15- 0.60	0.025	0.030	0.030	max. 0.15	-	min. 880	10	260-300
R 320 Cr	EN13674-1	0.60- 0.80	0.75- 1.25	0.50- 1.10	0.020	0.030	0.20	0.75- 1.25	-	min. 1080	9	320-360
STANDARD	AREMA	0.74- 0.84	0.75- 1.25	0.10- 0.60	0.020	0.020	0.010	max. 0.25	0.060	min. 983	10	min. 300
IH	CN12-16D	0.70- 0.82	0.70- 1.10	0.40- 1.00	0.030	0.020	0.010	0.40- 0.70	0.050	min. 1014	8	min. 325
3 HB	CN12-16D	0.72- 0.82	0.80- 1.10	0.10- 0.50	0.030	0.020	0.010	0.25- 0.40	0.050	min. 983	10	min. 300

A vegyi összetétel azonban egyértelmű nehézségeket jelent a hegeszthetőség szempontjából, hiszen a karbontartalom növekedésével romlik az acélok hegeszthetősége, illetve növekednek a technológiával szembeni elvárások a következők szerint:

- Előmelegítés, hogy a varrat szövetszerkezete és a hőhatásövezet ne edződjék martenzitessé, amely kedvezőtlen a dinamikus igénybevételekkel szemben. Ennek oka, hogy a martenzites szövetszerkezet egy igen rideg, kemény szövet, amely bár keménysége folytán nagyon jól ellenállna a sín pályát terhelő nyomó igénybevételnek, a nyomás mellett jelentkező dinamikus hajlító és lüktető hatásoknak nagyon rosszul áll ellen. Ilyen jellegű igénybevételek gyorsan repedések keletkezéséhez, majd töréshez vezetnek a martenzites szövetben.
- Alacsony hidrogéntartalmú hegesztőanyag, a hidegrepedések elkerülése végett.
- Hegesztőanyag, amely későbbi repedések keletkezése nélkül képes oldani az alapanyagból felkeveredő többlet karbont, mégis megfelelő mechanikai tulajdonságokat biztosít a későbbiekben a fellépő igénybevételekkel szemben.
- Megfelelően hosszú lehülési idő biztosítása az adott vegyi összetétel szerint. Nagyon fontos megemlíteni, hogy a sín alapanyagok túlnyomó többségénél nem alkalmazhatóak az általános acélszerkezetek hegesztéséhez rendelkezésre álló karbonegyenérték (CE) számítási formulák azért, mert a sínek vegyi összetétele egészen egyszerűen kívül esik azok érvényességi tartományán. Helyes eljárás azonban, ha a lehülési sebesség meghatározásához az adott összetételre vonatkozó folyamatos hűlésű diagramot (C-görbe) alkalmazzuk.

Meg kell még jegyezni, hogy alapvető különbség van a vasúti Vignoles rendszerű és a villamospályák íveiben található Phoenix rendszerű sínek profiljában (1. ábra). A Phoenix sínek hornya lehetővé teszi a városi környezethez való könnyebb igazítást, pl. a gépjármű forgalom sínpályán történő áthaladását. Emellett fokozott védelmet biztosít a kerék pálya elhagyása ellen.



1. ábra A Vignoles (balra) és Phoenix (jobbra) rendszerű sínek keresztmetszete

A szóban forgó Phoenix sínek károsodása elsősorban a sínfej oldalfalának kopásából áll, amelyet az ívekben a nagyobb (külső) íven futó kerék karimája által kifejtett „fém a fémen” koptatás okoz (2. ábra).



2. ábra A külső (balra) és a belső (jobbra) íven futó kerék elhelyezkedése a sínhoronyban és a sín oldalfalához képest

A villamos sínpályák jellemző alapanyaga az EN 14811:2006 szabvány szerinti R220G1 besorolású acélfajta (2. táblázat).

2. táblázat Az R220G1 típusú sínacél vegyi összetétele

	R220G1				
	C	Mn	Si	P	S
min	0,58	0,98	0,25	0,019	0,019
max	0,62	1,1	0,28	0,023	0,021

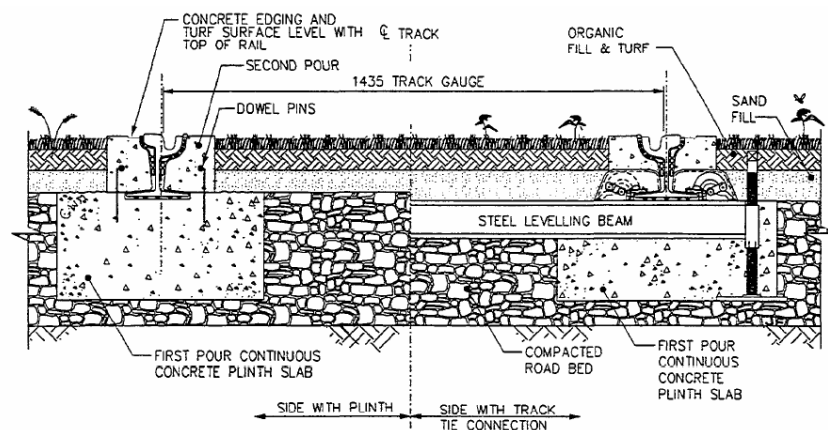
Ennek M_s hőmérséklete és ötvözetartalma alapján 300-320°C előmelegítési hőmérséklet alkalmazása lenne indokolt, 250°C sorközi hőmérséklet tartása mellett.

1.2. A villamos sínek üzemi körülményei és azok különlegességei

Nagyon fontos a helyes technológia alkalmazása, hiszen a sínpályák biztonsága egyben a rajtuk való közlekedésnek az alapvető fontosságú feltétele. Ezek alapján egyértelmű, hogy a villamos sínpályák felrakóhegesztése esetén is előmelegítéssel kellene kivitelezni a technológiát. Bár az elméleti megfontolásokkal mindenki tisztában van és alkalmazásuk jogosságához kétség nem fér, mégis a gazdasági és a fizikai körülmények lehetetlenné teszik az előmelegítés alkalmazását. Ennek magyarázata, hogy a villamos pályák általában nem szabadonálló, hanem beépített sínekkel kerülnek kialakításra (3. és 4. ábra).



3. ábra Beépített Phoenix sínek



4. ábra Sín ágyazat kialakítási módszerek (A metszet bal oldalán leszorító vasbetongerendákkal; Jobb oldalon szorítócsavarokkal és takaróelemmel) [2]

Az előmelegítés elhagyásának kívánalma tehát a városi környezet beépítettsége miatt született meg, hiszen a sínek közvetlen közelében lévő aszfalt mellett semmiképpen nem lehet a sint 300-350 °C-ra előmelegíteni, annak kiolvadásának, illetve esetleges meggyulladásának veszélye nélkül. A sínek melletti aszfalt és betonsáv bontása szintén nem elképzelhető, hiszen költségei túl magasak lennének. Ennél azonban még nagyobb problémát jelentene, hogy a visszaépítés után a szükséges száradási és várakozási idők akadályoznák a közlekedés zavartalanságát, hiszen az ilyen jellegű sinkarbantartásokat a villamos-forgalom mentes időszakokban, éjféltől hajnali négy óráig végzik. Ez alatt a 4 munkóra alatt egyszerűen fizikailag lehetetlen a sínek környezetét felbontani, előmelegíteni, a felrakóhegesztést elvégezni, a varratot az eredeti sínprofil alakjára kialakítani köszörüléssel, visszabetonozni a sínszakasz mellett kibontott területet és leaszfaltozni annak felületét.

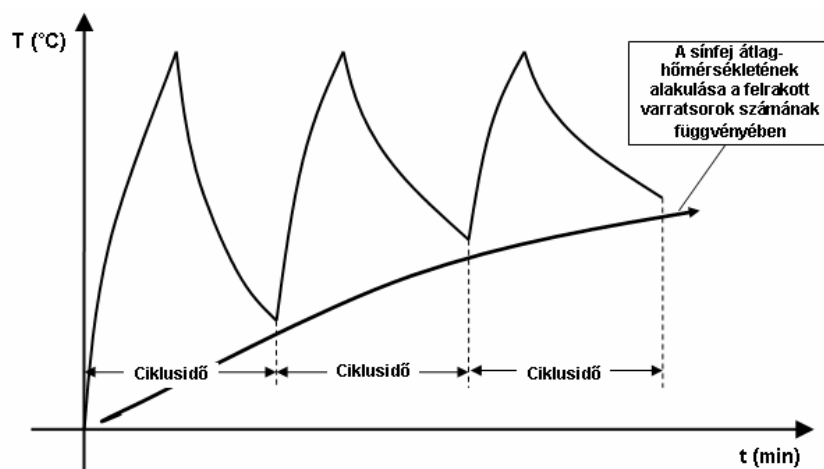
A körülmények biztosította kényszerek miatt tehát az előmelegítés nélküli technológia igénye rendkívül erőteljes a villamos sínpályák karbantartásával foglalkozó vállalatok körében.

2. Kísérleti munka

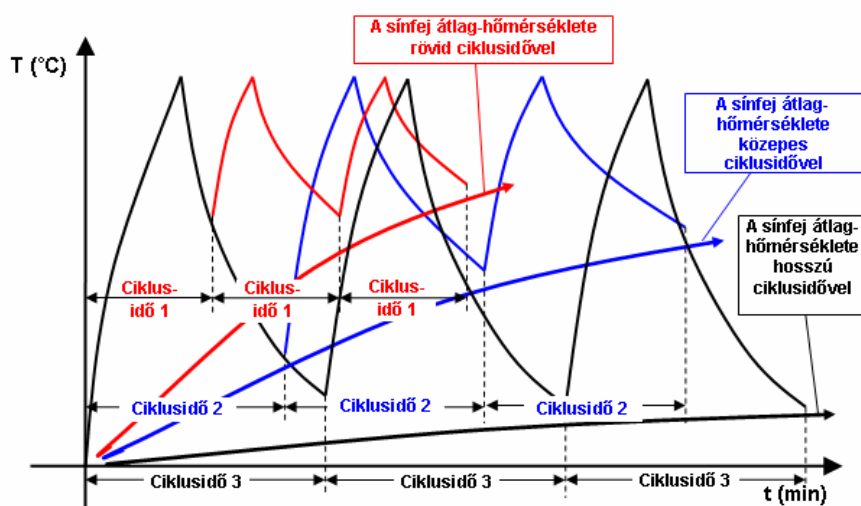
Az elvégzett hegesztési kísérletek az alábbi megfontolások alapján kerültek összeállításra.

Az előmelegítés nélkül történő felrakóhegesztés esetén szinte teljes bizonyossággal kijelenthető, hogy az első és valószínűleg a második felrakott varratsor hőhatásövezetében is martenzites szövet alakul ki a gyors hűlés következtében. Ugyanakkor az első sor hőhatásövezetét jelentős mértékben hőkezeli a második, majd a harmadik, negyedik, ötödik és hatodik sor hőbevitelére létrehozva ezáltal egy folyamatos megeresztést az első egy-két sor martenzites hőhatásövezetében, ráadásul a sínfej hőmérséklete – az egyes varratok közötti várakozási idő függvényében – folyamatosan emelkedik (5. ábra). Ez a sínfej átlag-hőmérséklet emelkedés, azonban a ciklusidőtől nagyon nagy mértékben függ (6. ábra).

Ezek alapján elképzelhető egy olyan optimális munkarend, amely alkalmazása következtében az első sorok hőhatásövezetében kialakuló martenzit tökéletesen vagy legalábbis a sínszámban fellépő dinamikus igénybevételeket kielégítő módon elviselő mértékben megeresztődik. A további sorok pedig a már előttük felhegesztett sorok hőbevitelének következtében elégségesen „előmelegített” alapanyagra kerülnek így ezeknél már a martenzit kialakulásával sem kell számolni. Illetve az ezen sorok által bevitt hő további feszültségmentesítő hőkezelést jelent az első sorok martenzites hőhatásövezete számára. Innentől kezdve a kérdés az, hogy milyen mértékű lágyítás érhető el ezzel a technológiával illetve, hogy így a hőhatásövezet keménysége le tud-e csökkenni 400 HV (megeresztéssel elérhető állapot, amely már nem tartalmaz martenzitet [5]) alá.



5. ábra A sínfej átlag-hőmérsékletének változása a felrakott sorok számának függvényében. (Sematikus diagram)



6. ábra A többsoros felrakóhegesztés hatására kialakuló sínfej átlaghőmérséklet emelkedés sematikus idő-hőmérséklet diagramja a hegesztési idő és ciklusidő függvényében. (Az ábrán piros, kék és fekete színek ábrázolják a rövid (ciklusidő 1), a közepes (ciklusidő 2) és a hosszú (ciklusidő 3) ciklusidővel azaz a varratkezdések közötti várakozási idővel hegesztett varratok sínfej-hőmérsékletre gyakorolt hatását.)

A fenti elméleti megfontolások alapján a hegesztési paraméterek állandó értéken tartásával már csak egy változtatható paraméter adódik, ez pedig a ciklusidő. Ezek alapján három (2, 5 és 10 perces) ciklusidőt választva lettek elvégezve a hegesztések. A ciklusidők megválasztását a következők magyarázzák.

2.1. Karbantartási tapasztalat

Az éjszakánként rendelkezésre álló munkavégzési idő körülbelül 4 óra. Ez idő alatt a kijelölt hosszúságú varratot elő kell készíteni a felrakóhegesztéshez (felület-tisztítás), az általában 5-6 soros varrat felhegesztését el kell végezni (az egyes sorok közötti salakeltávolítással), majd köszörüléssel ki kell alakítani a sínprofilt és legvégül át kell adni a sinszakaszt a forgalomnak. Eme munkafolyamatok mindegyikének bele kell férnie az említett 4 órás időtartamba. A kialakult szokások és tapasztalatok alapján ez az idő általában 4 méter felrakóhegesztés elkészítéséhez elegendő. Jelen kísérletek elvégzésekor ezt a termelékenységet vizsgáltuk elsősorban.

2.2. Üzemszerű alkalmazhatóság

2.2.1. 2 perces ciklusidő

Az optimum keresés során – ipari megbízásról lévén szó – a megállapított technológia gyakorlati felhasználhatóságát is szem előtt kellett tartani. Így aztán legrövidebb ciklusidőként is egy olyan értéket kellett választani, amely még nehézségek árán tartható, de ugyanakkor a termelékenysége is megfelelő. A 2 perces ciklusidő körülbelül 60 cm varrat felhegesztéséhez, salakoláshoz, sínvályú kitakarításához, majd a hegesztőgép varrat elejéhez történő visszahelyezéséhez és a hegesztőpisztoly beállításához elegendő. A 2 perces ciklusidő ugyanakkor a leggyorsabb sínfej melegedést eredményezi, amely elméletileg kedvező. Ezzel a ciklusidővel számolva egy négy méteres sinszakasz felrakóhegesztése – 6 varratsorral számolva – átállásokkal együtt ~80 perc alatt készíthető el.

2.2.2. 5 perces ciklusidő

Az optimum keresés középértékeként választott ciklusidő, amely 2 méter hosszúságú varratok egyben történő felhegesztéséhez szükséges idő. Ez a varratméret jelentősen csökkenti a varratkezdések s így a beállítások, illetve a varratkezdéskor esetlegesen kialakuló kötészhibák számát. Az 5 perces ciklusidővel számolva egy négy méteres sinszakasz felrakóhegesztése – 6 varratsorral számolva – átállásokkal együtt ~70 perc alatt készíthető el.

2.2.3. 10 perces ciklusidő

A leghosszabb ciklusidő. Ez az érték 4 méteres varratsorok elkészítéséhez elegendő ciklusidő. Ezt az értéket tartva a sínfej gyakorlatilag kézzel tapintható hőmérsékletre (~80-90 °C) hűl vissza, ami elméletileg már egyáltalán nem tűnik ideálisnak, hiszen általa nagy eséllyel keletkezik minden sor hőhatásövezetében martenzit. A 10 perces ciklusidővel számolva egy négy méteres sinszakasz felrakóhegesztése – 6 varratsorral számolva – átállásokkal együtt ~60 perc alatt készíthető el.

A fentiek alapján az is megállapítható, hogy gyakorlati szempontból a 2 és a 10 perces ciklusidő a technológia két szélsőértéke. A 2 perces ciklusidő alatti értékek már gyakorlatilag (éjszaka a villamospálya közepén) kivitelezhetetlenek, hiszen ezek olyan rövid varrat hosszakat jelentenének, amelyek a termelékenység nagymértékű csökkenéséhez vezetnének. A 10 perc fölötti ciklusidőkkel kapcsolatos legnagyobb aggály, hogy az előzőekben ismertetett elméleti megfontolások szerinti folyamatok már egyáltalán nem játszódna le alkalmazásukkor, hiszen a sínfej hőmérséklete minden sor között túlságosan visszahűlné. Ez azt jelentené, hogy a befejező sorok sem „előmelegített” alapanyagra kerülnének így azok hőhatásövezete is mind beedződne.

2.3. Hegesztéstechnológiai megfontolások

A Phoenix sín oldalfal kopásának felrakóhegesztésekor több tényezőt kell szem előtt tartani:

2.3.1. Varrat újratekercések

A varrat újratekercések minden hegesztés esetén varrathibák kialakulásának lehetséges és leginkább valószínű helyszínei. Azon a problémán, amit a varratok újratekercésének helye jelent – nevezetesen a hidegkötés, porozitás, salakzárvány kialakulásának lehetősége – csak megfelelő varratelőkészítéssel javíthatunk, azonban célszerű varratkialakítással az esetleges varrathibák hatása jelentősen csökkenthető. Az elv csupán annyi, hogy a varrattekercések helyét lépcsőzetesen egymástól el kell tolni (7. ábra).

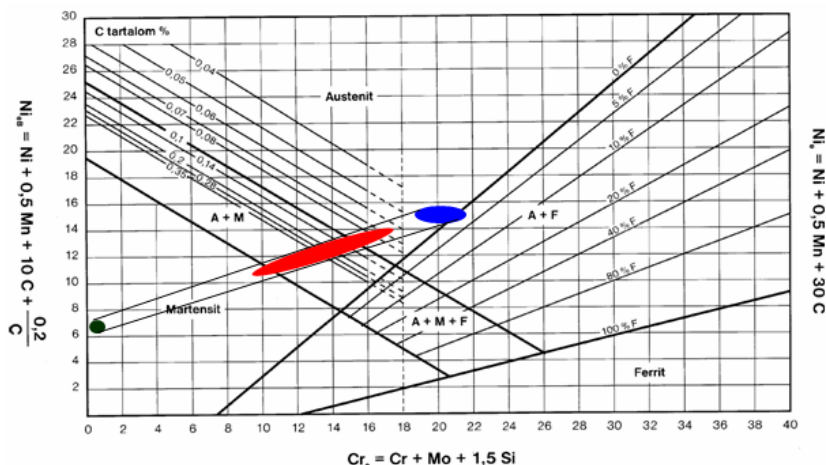


7. ábra Egymáshoz képest eltolt varratkezdési helyek. Javasolt a varratbefejezések hasonlóan lépcsős kialakítása.

2.3.2. Hegesztőanyag kiválasztásának szerepe

A hagyományos sínfelrakáshoz ajánlott hegesztőanyagok rendszerint martenzites varratfémeket eredményeznek. Vegyi összetételük kialakításakor számoltak a sín alapanyagából felkeveredő karbonnal, aminek következtében a varratfém a kívánt keménységű lesz a hegesztés befejeztével. Ez azonban csak megfelelően lassú lehűlés következtében igaz. Az előmelegítés elhagyásával a sínfej hűlési sebessége jelentősen gyorsabb lesz, aminek eredményeként az említett hegesztőanyagokkal készített varratok felületén, szinte törvényszerűen repedések keletkeznek. Ezek a repedések nem csupán esztétikailag nem elfogadhatóak, de üzembiztonság szempontjából sem, hiszen az ilyen vegyi összetételű varratok repedései egyenes úton repedhetnek tovább a sín alapanyaga felé, amely végül sántöréshez és akár baleset kialakulásához is vezethet.

Az ilyen ötvözetek helyett az ausztenites varratfémeket biztosító hegesztőanyagok javasoltak, amelyek karbonoldó képessége kiváló s ugyanakkor a hegesztés befejeztével még mindig megfelelően szívósak s ezáltal könnyen megmunkálhatóak. Ez azonban csak akkor igaz, ha megfelelő vegyi összetételű ausztenites hegesztőanyag lett kiválasztva. Ennek megfelelő elvégzéséhez nyújt nagy segítséget a Schaeffler-Béres diagram (8. ábra), amely a varrat karbontartalmától teszi függővé a martenzit vonal elhelyezkedését.



8. ábra A Schaeffler-Béres diagram [3]. A sötét zöld pont a sín alapanyagának, a kék a hegesztőhuzalnak, a piros pedig a varratfémnek (a felkeveredés függvényében) a vegyi összetételét reprezentálja.

Vegyes kötés esetén csak akkor lehet ausztenites varratfémre számítani, amennyiben a kalkulált vegyi összetétel Cr és Ni egyenértékeivel jellemzett pont (vagy terület) a hozzá tartozó kabontartalmat jelölő egyenes fölött helyezkedik el.

A 8. ábra bemutatja, hogy még 18/8/6 típusú ausztenites hegesztőanyag alkalmazásával sem biztosítható teljes bizonyossággal a varratfém martenzit-mentes szövetszerkezete. Az ábrán a sötétzöld pont a sín alapanyagát hivatott jelölni, de meg kell jegyezni, hogy 10 krómegyenérték alatt a diagram már egyre erősebben torzít. A kék ellipszis a hegesztőanyag, míg a piros terület a varratfém vegyi összetételét ábrázolja. Mivel a varratfém vegyi összetétele a piros mezőn belül akárhol lehet – az alkalmazott technológia által okozott felkeveredés függvényében –, ezért akár még teljes mértékben martenzites szövetszerkezetű varratfém is kialakulhat, amely a varrat lehűlése során ébredő hőfeszültségek okozta repedésveszély miatt elkerülendő. [4]

Máskülönben az ausztenites hegesztőanyagok választása remek megoldás mivel a felkeveredő karbont könnyedén oldják s megfelelő – a fentiekben leírt martenzites szövetszerkezet kialakulását elkerülő – technológia alkalmazásával túlnyomórészt ausztenites varratfémeket eredményeznek. Ennek másik előnyös tulajdonsága, hogy nyomó (fém a fémen) illetve ütősszerű igénybevételek hatására a szerkezete mégiscsak átbillen martenzites struktúrába. Ekkor már azonban nem kell számolni a hőfeszültségek okozta repedésveszéllyel, de az üzemszerű terheléssel egy felkeményedett réteg néz szembe, amely hosszabb élettartamot biztosít a felrakott sín számára.

2.4. Hegesztési paraméterek

A hegesztési paraméterek megválasztásakor a lehető legnagyobb hőbevitel elérésére kell törekedni úgy, hogy a varrat megfolyása biztonsággal elkerülhető legyen, de egyben megfelelő méretű – minimum 5 mm – vastagságú varrat egy sorral felhegeszthető legyen. Ez több technológiával és módszerrel biztosítható. Jelen kísérlet során egy viszonylag gyorsan dermedő salakú önvédő portöltetű hegesztőanyagot alkalmaztunk, amely vegyi összetétele 18/8/6 típusú ausztenites anyag volt.

A hegesztés reprodukálhatóságát hegesztőtraktor biztosította, amellyel a hegesztési paraméterek a következők voltak:

- Hegesztőáram: $I = 240 \text{ A}$;
- Ívfeszültség: $U = 30 \text{ V}$;
- Hegesztési sebesség: $v_{\text{heg}} = 60 \text{ cm/perc}$;
- Huzalkinyúlás $s = 30 \text{ mm}$.

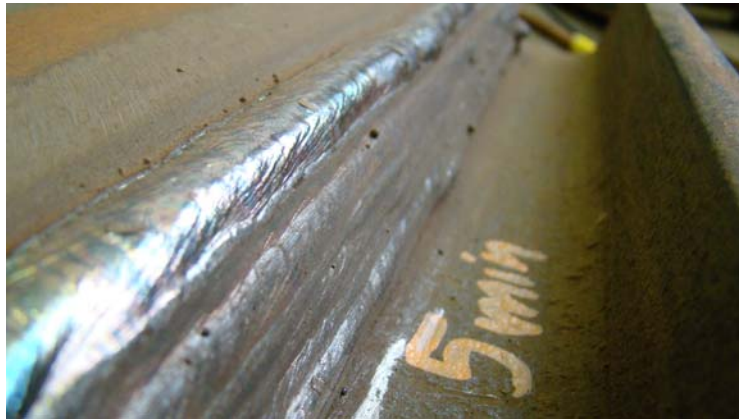
3. Eredmények

Mindent összegezve a legfontosabb célkitűzés a sínek hőhatásövezetében bekövetkező változások feltárása volt, előmelegítés nélküli, de ciklikusan folyamatos hőbevitellel. Ennek értelmében a kísérletek elvégzésekor – a rendelkezésre állás és a könnyebb kezelhetőség következtében – a hornyos Phoenix sínek oldalfalai helyett ezek futófelülete lett felhegesztve (9. ábra).



9. ábra A felrakott futófelületű Phoenix sín. (Jobbról balra sorban a 2, 5 és 10 perces ciklusidővel elkészített varratok)

A pozíció hatásának vizsgálatára pedig 5 perces ciklusidővel egy oldalfal is felrakásra került (10. ábra).



10. ábra Sínhorony oldalfalának felrakott felülete közvetlenül hegesztés után

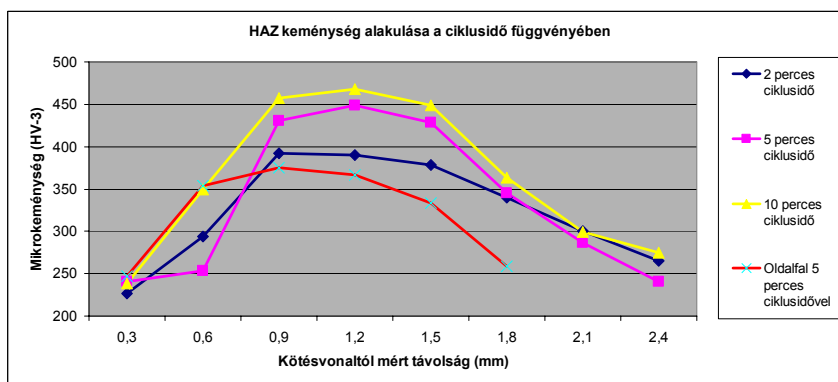
Az elkészített felrakóhegesztések mindegyikéből 2-2 keresztmetszet szolgáltat mintaként (11. ábra). Ezeken mikroszkópos és mikrokeménységvizsgálat történt.



11. ábra Phoenix sín oldalfal felrakóhegesztés keresztmetszeti csiszolata. (A sín talpa, gerince, hornya és a sínfej jelentős része el lett távolítva a könnyebb kezelhetőség érdekében.)

A keménységvizsgálatok az egyes varratok kötővonalára merőlegesen 0,3 mm-enként lettek elvégezve 3 kg-os terheléssel (HV_3).

A különböző ciklusidőkkel hegesztett varratok hőhatásövezetében kialakuló átlagkeménységeket a 12. ábra mutatja be.

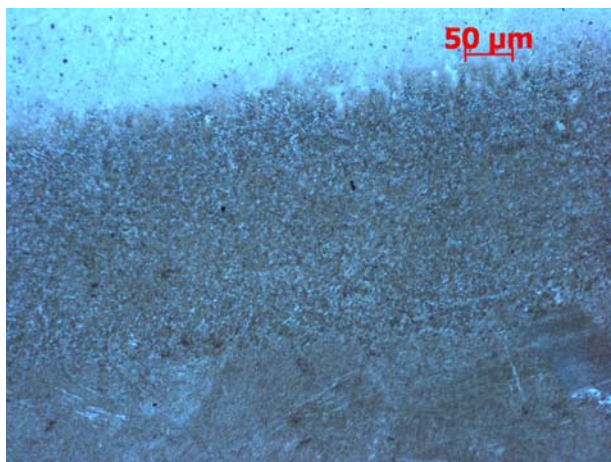


12. ábra A különböző ciklusidőkkel hegesztett varratok hőhatásövezetében mért keménységek

Az ábra alapján egyértelműen megállapítható, hogy a bevezetőben kritériumként említett maximális 400 HV keménység 2 percs ciklusidővel érhető el, amennyiben a felrakóhegesztést a sínfej futófelületén végzik. Az oldalfalon készített varratok esetén azonban a hőhatásövezet keménysége szempontjából még az 5 percs ciklusidő is megfelelő eredményt produkál. Ennek az eredménynek az oka egyértelműen a hőbevitel irányára vezethető vissza, amely a futófelület felrakásakor az alapanyag felé, míg oldalfal esetén leginkább a már felrakott réteg felé irányul.

Az eredmények alapján az is megállapítható, hogy az egyes varratsorok hőbevitelének növelésével a ciklusidők hossza is növelhető úgy, hogy a hőhatásövezetben még mindig megfelelő keménységű szövetszerkezet alakuljon ki. Ezt a következtetést azonban további vizsgálatokkal igazolni szükséges.

Nagyon érdekes és említésre méltó megfigyelés volt a hőhatásövezet szemcse-szerkezetének rendkívüli finomsága (13. ábra), amely körülbelül a 1-30 μm tartományba esik. Az ilyen szemcsemérettel jellemezhető anyagokat ultrafinom szerkezetű anyagoknak nevezik, amelyekre már az általánosan elfogadott alapszabályok csak megfontolásokkal érvényesek.



13. ábra A hőhatásövezet jellemző szemcsemérete. (Fölül fehéren: a felrakott ausztenites varrat, amelyet nem mart meg a marószér.)

Ezek alapján további megfontolás tárgyát kell, hogy képezze a hőhatásövezet megengedhető keménységének értéke! Bár a Hall-Petch összefüggés ismeretes a szemcsefinomság szilárdságra gyakorolt hatásának kalkulálására, de a 35 nm alatti tartományban már ez sem alkalmazható, ráadásul ezen összefüggés nem vonatkozatható egyértelműen a keménységre. Következésképp – jelenleg – a szemcsefinomodás szívósságra illetve a hőhatás övezet megengedhető keménységére gyakorolt hatásának vizsgálata egy kitűzött cél. [6], [7]

Következtetések

Az R220G1 (EN 14811:2006) típusú hornyos villamos sín előmelegítés nélkül 2, 5 és 10 perces ciklusidővel történő felrakóhegesztésével kapcsolatban a következő eredmények voltak megállapíthatóak:

- A ~0,6% karbontartalmú sínacél előmelegítés nélkül történő felrakóhegesztése elvégezhető, ciklikus munkarend alkalmazásával.
- Az elvégzett kísérleti varratok közül a futófelületre történt felrakóhegesztés esetén a 2 perces, az oldalfal felrakás során az 5 perces ciklusidő is a kritériumként állított 400 HV keménység alatti hőhatásövezetet eredményezett.
- A kutatások folytatását a szemcseméret és a hőhatásövezetben megengedhető keménység összefüggésének illetve a hőbevitel növelésének a ciklusidő nyújthatóságára gyakorolt hatásának meghatározása irányában javasoljuk folytatni.

Köszönetnyilvánítás Köszönetemet szeretném kifejezni Kiss Csabának (MÁV Thermit Kft.) és Kristóf Csabának (visszavonult) és Dobránszky Jánosnak (MTA-BME ATT) a dolgozat elkészülésében nyújtott folyamatos szakmai segítségért. Prebendárcsik Gyula és Ládi Attila (MVK Zrt.)

uraknak a kísérletek elvégzésében nyújtott segítségért és Kulcsár Viktornak (Miskolci Egyetem) a keménység- és mikroszkópos vizsgálatok elvégzéséért.

Irodalomjegyzék

- [1] www.mav.hu
- [2] National Research Council - Transition Research Board: Track Design Handbook for Light Rail Transit, National Academy Press, Washington DC, USA, 2000
- [3] dr. Bauer Ferenc, dr. Béres Lajos, dr. Buray Zoltán és dr. Szita Lajos: A hegesztés anyagismerete és a hegesztéstechnológia alapjai. Budapesti Műszaki Egyetem, Mérnöktovábbképző Intézet, Budapest, 1995
- [4] D. J. Kotecki: A Matensite Boundary on the WRC-1992 Diagram; Welding Research Supplement, May 1999, pp. 180-192
- [5] Dobránszky János: Kis falvastagságú, nagy C-tartalmú acélok hegeszthetősége, Országos Hegesztési Konferencia, Siófok, 1998
- [6] J. W. Morris, Jr.: The Influence of Grain Size on the Mechanical Properties of Steel, <http://www.osti.gov/bridge/purl.cover.jsp;jsessionid=F1B54827A33181160D7240ECB9BACF44?purl=/861397-Tb7pb9/>
- [7] N. Tsuji, R. Ueji, Y. Saito, Y. Koizumi és Y. Minamino: A Novel Process to Obtain Nanostructured Low-Carbon Bulk Steel with High Strength. Proceedings of the 22nd Riso International Symposium of Materials Science: Science of Metastable and Nanocrystalline Alloys Structure, Properties and Modelling, Roskilde, Denmark, 2001