

2.5 | Vasúti sínek roncsolásmentes vizsgálata

Tárgyszavak: roncsolásmentes vizsgálatok; hegesztésvizsgálat; ultrahang-frekvenciás vizsgálat; izotópos vizsgálat; gamma-sugaras vizsgálat; vasúti sínek hibakimutatása.

A vasúti járművek sebességének növelése és az egyenletes futás egyaránt előtérbe helyezte a hegesztett sínkonstrukciókat. Ez viszont együtt jár a sántörés fokozott veszélyével. A roncsolásmentes hibavizsgálatok iránti igény kielégítése érdekében az ultrahang-frekvenciás, a gamma-sugaras, a mágneses stb. anyagvizsgáló módszerek különböző változatait tették alkalmassá a sínhibák és hegesztett sínkötések hibáinak megbízható kimutatására.

Az ultrahang-frekvenciás módszert már 1949 óta alkalmazzák sínhibák kimutatására. Az utóbbi években új, tökéletesebb ultrahang-frekvenciás módszerek alkalmazására került sor, miután a sínhálózat egy része már elavult, ugyanakkor a megnövelt sebesség fokozott követelményeket támaszt a biztonsági rendszabályokkal és a karbantartással szemben.

A megnövelt terhelés és az egyidejűleg fokozott utazási sebesség nemcsak meggyorsítja a meglévő hibák kialakulását, hanem új hibatípusok előfordulására is lehetőséget nyújt. Fokozódik a sínfej kopása, ami megváltoztatja a keresztmetszeti geometriát. A sínvég végeredményben képlékeny hidedgalakítás hatásának van kitéve, ami csökkenti a sínfej és a kerékprofil érintkezési felületét. Ez viszont növeli a belső csúsztató feszültségeket.

A repedéseket és a kitöredezéseket elsősorban a belső feszültségek okozzák. A kéregképződés és -leválás nagyjából a csapágy-meghibásodásoknak megfelelő mechanizmusra vezethető vissza.

A kitöredezés a sínfej 10–28%-os felületén jelentkezik, és a terhelés növekedése függvényében fokozódik, akár a felület 60%-ára is kiterjedhet.

Mind az új hibatípusok, mind a gyorsabban növekvő ismert hibák megváltoztatják a sín keresztmetszetében a terheléseloszlást. Bonyolult kölcsönhatás alakul ki a sínterhelés, a sebesség, a hiba (eredete és növekedése), valamint a metallurgiai változók (értve ezeken a kémiai összetételt, valamint a síngyártási folyamatot) között.

A sínhibákat a sínben elfoglalt helyzetük és eredetük szerint lehet osztályozni. A hiba elhelyezkedhet a sínfejben, a -gerincben és a -talpban. A repe

dések általában a gyártásnál bekerült zárványoktól indulnak ki és az üzemi feltételek hatására növekszenek. A síngyártás folyamán a kéregképződés valószínűségét csökkenti a szilícium- és mangánkoncentráció növelése. A hőkezelés is hozzájárulhat ehhez. Mivel a hibákat mind a gyártástechnológia egyes kísérőjelenségei, mind az üzemeltetési viszonyok befolyásolják, ezért fontos vizsgálni a hibakeletkezés eredetét befolyásoló tényezőket.

A síngyártáshoz felhasznált tuskóban levő szennyezések a képlékeny alakítás folyamán elnyúlt alakot vesznek fel. A hibák innen indulnak ki. A kémiai összetételtől és a síngyártási technológiától (hengerlés, a fej hőkezelése, egyengetés) függően a hiba egyaránt lehet hosszirányú vagy keresztirányú. A keresztirányú hibákat az üzemviteli anomáliák is előidézhetik, mint például a sínfej terhelés okozta keményedése. A sínhibák gyakoriságát az 1. táblázat foglalja össze.

1. táblázat

Különböző sínhibák százalékos eloszlása*
(egy év alatt gyűjtött statisztikai adatok)

Észlelt hibák		Meghibásodási jelentések	
Hibás hegesztés	22%	Keresztirányú hibák	33%
Hibás csavarfurat	19%	Hibás hegesztés	30%
Keresztirányú hiba	18%	Hibás csavarfurat	9%
Függőleges fejhasadás	9%	Függőleges fejhasadás	8%
A sínfej és -gerinc szétválása	7%	Törött rész	4%
Törött rész	6%		
Motor égése miatti törés	6%		

* Sem az észlelt hibák, sem a meghibásodási jelentésekbe beírt hibák nem adják ki a 100%-ot (egyéb, ritkán előforduló hibák nem szerepelnek a felsorolásban)

A legtöbb problémát a keresztirányú hibák és a függőleges, fejosztó hasadások okozzák. Külön figyelmet érdemelnek, mert hatással vannak a sín működtetési viszonyaira. Legtöbb keresztirányú hiba (keresztirányú repedések és kitöredezés) az $y-z$ síkkal mintegy 20° -os szöget zár be. Van, amelyik az $y-z$ síkhoz viszonyítva $5-12^\circ$ -os szögben előfordul, vagy az y -tengelyhez képest eltérő szöget zár be. A terhelés hatására a keresztirányú hibák mérete és irányítotttsága folyamatosan változik.

A függőleges, fejosztó hasadások a függőleges síkban helyezkednek el. Felületük nem egysíkú és nem lineáris. A keresztirányú hibákhoz hasonlóan alakjuk, méretük és tájolásuk a nagy sebesség okozta terhelésnek kitett vonalakon folyamatosan változik. A nem egysíkú és nem lineáris fejosztási hasadásokat bonyolult geometriai feltételek és erőteljes fejkopás esetében nehezen lehet észlelni.

A sín kopása nemcsak a sínfejen változtatja meg a terheléseloszlást, hanem az ultrahang-frekvenciás vizsgálat sajátosságait is erőteljesen befolyásolja. Így például a síngörbület következtében a sínfej magasságának 2,5 mm-es csökkenése $2,6^\circ$ -nak megfelelően megváltoztatja a beesési irány szögét, ami viszont módosítja a hullámátalakítási módust. A normális, kopás nélküli sínfej esetében az első kritikus szög $16,3^\circ$, a második 31° . Ebben az esetben feltételezzük, hogy a csatolóanyagban a hangterjedési sebesség 1656 m/s. Azonban az erősen elkopott sínfej esetében, amikor a magasságcsökkenés 7,6 mm, az első kritikus szög 24° , a második $38,7^\circ$. A hullámátalakítási módus ennek megfelelően változik. Strukturális követelmények szempontjából a maximálisan megengedhető sínfejkopás magasság irányban 12,7 mm, sablon szerint ellenőrizve pedig 15,2 mm.

A keresztirányú és a fejosztási hibákat ultrahang-frekvenciás módszerekkel mutatták ki. Miután a hibák felületei nem egysíkúak és nem lineárisak, ezek ellenőrzése nem egyszerű. A vasúti sínvizsgálat folyamatosan a keresztirányú és a fejosztási hibák ultrahang-frekvenciás vizsgálatának eredményességét és megbízhatóságát próbálja javítani. Ezért jobban kell ismerni az ultrahang-frekvenciás hullámok terjedési törvényszerűségeit (beleértve a hangtereket is), valamint azok kölcsönhatását a sínhibákkal.

A kísérletek folyamán szikraforgácsolással előállított hornyolásról 70° -os szögben visszavert, hullám viselkedését vizsgálták. Ugyanakkor tanulmányozták a különböző (45, 49, 54, 60, 64 és 70°) szögekben a nem egysíkú hasítási felületekről visszavert csúsztató hullámok terjedési törvényszerűségeit, egyszeres és többszörös visszaverődés feltételei között. Hosszú távon a kísérletek célja annak tisztázása, mi a fizikai háttere a hibák és az ultrahang-frekvenciás hullámok kölcsönhatásának. A megállapítások segítségével javítani lehet az ultrahang-frekvenciás technikát és növelni a vasúti sínpályákon a hibák kimutatásának biztonságát. Ez egyidejűleg matematikai modell kidolgozásának feltételeit is megteremti.

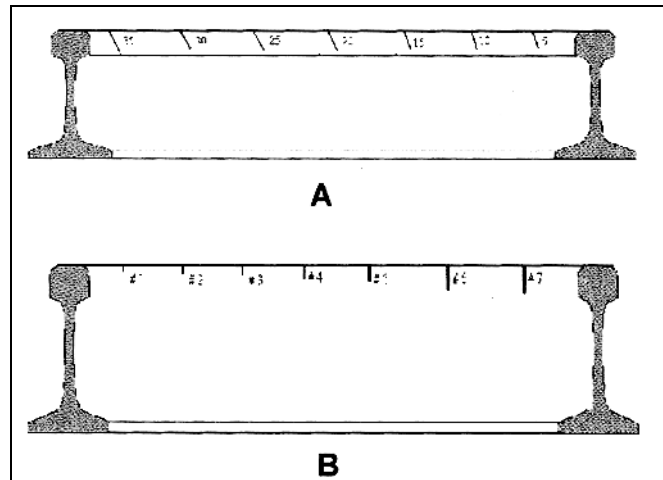
Anyagok

Szikraforgácsolással hornyolt próbatetek

A vizsgálathoz két olyan próbatesttípust használtak fel, amelyeken szikraforgácsolással állították elő a hornyokat. A koordinátarendszer: x = a sín hossz tengelye, y = a sínfej szélességének iránya és z a sín magasságának iránya (1. ábra).

Az 1/A és az 1/B ábrák tüntetik fel az első és a második, szikraforgácsolással megmunkált próbatesttípust. Az első próbatesten hét azonos méretű hornyot állítottak elő, amelyek a keresztirányú síkkal 5° -tól 35° -ig terjedő szöget zárnak be, 5° -onként növekvő mértékben (1/A ábra). A hornyok méretei: $X = 2$ mm szélesség, $Y = 25$ mm hosszúság, $Z = 19,1$ mm mélység.

A második próbatesten hét keresztirányú, különböző méretű hornyot állítottak elő. A hornyok méretei a 2. táblázatban szerepelnek.



1. ábra A) Sín próbatest, hét – szikraforgácsolással előállított – horonnyal
 A horony szélessége $X = 2$ mm, magassága $Z = 19,1$ mm, hossza $Y = 25,4$ mm. A hornyok a keresztirányú síkkal különböző szögeket zárnak be. B) Szikraforgácsolással előállított, különböző méretű, keresztirányban fekvő horonnyal ellátott sín próbatest.
 A hornyok méreteit a 2. táblázat foglalja össze.

2. táblázat

A szikraforgácsolt hornyok méretei

A horony sorszám	Horonyszélesség, X mm	Magasság, Z mm	Mélység, Y mm
1	0,5	1,6	3,2
2	0,5	3,2	6,4
3	0,5	4,8	12,7
4	2,0	6,4	19,1
5	2,0	12,7	25,4
6	2,0	19,1	31,8
7	2,0	25,4	38,1

A sín belső oldala a kerékabroncs pereme által nagyobb igénybevételnek van kitéve, mint a külső oldal.

Próbatetek függőleges horonnyal hasított fejjel (FHHF)

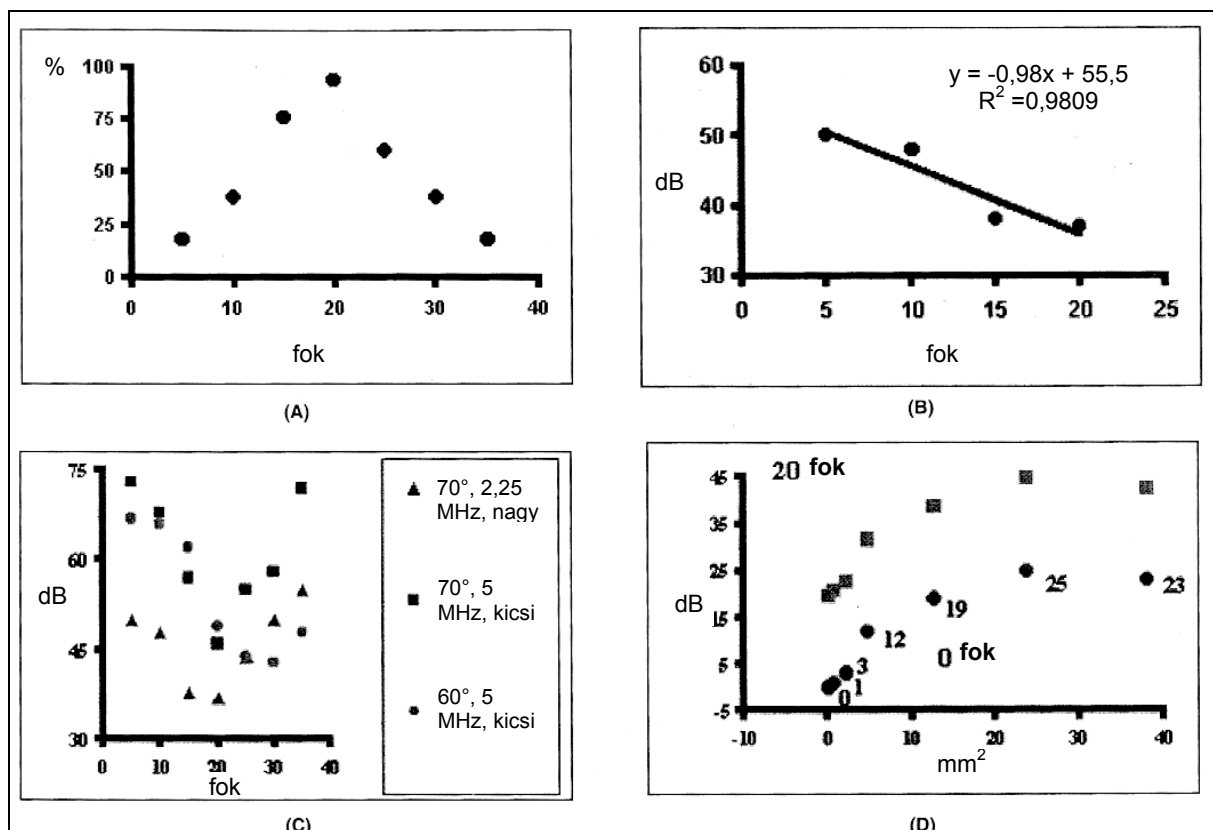
Öt olyan FHHF próbatestet vizsgáltak, amelyeknek hossza 76,2 és 914,4 mm között változott. A tapasztalatok azt mutatták, hogy az FHHF próbatetek

horonyprofilja és horonyfelülete mindig eltérő és nem a sín hosszával azonos irányúak.

Módszer

A szikraforgácsolással előállított horony méretének és tájolásának hatása a 60°-os és 70°-os visszavert csúsztató hullámok amplitúdójára

A 2/A ábra (a teljes képernyőmagasság %-ában kifejezett) amplitúdóváltozást mutatja be a 70° irányú visszavert hullám esetére, a horony irányának függvényében.



2. ábra A) Amplitúdóváltozás (a teljes képernyőmagasság %-ában) 70°-os beesési szögű hullámok esetében, a horonyok tájolása függvényében.
 B) A 80%-os hullámamplitúdó eléréséhez szükséges dB-érték a horonytájolás függvényében, 70°-os hullám-visszaverődés esetén.
 C) A 80%-os hullámamplitúdó eléréséhez szükséges dB-érték a horonytájolás függvényében, 60 és 70°-os hullám-visszaverődés esetén, különböző méretű kristályok felhasználásakor.
 D) A 80%-os hullámamplitúdó eléréséhez szükséges dB-érték a horonyméret függvényében, 70°-os hullám-visszaverődés esetén

A horonyirányt 5° -tól 20° -ig növelve az amplitúdó lineárisan növekedett, majd 20° -tól 35° -ig lineárisan csökkent. A görbe két felének emelkedése, ill. süllyedése azonos jellegű.

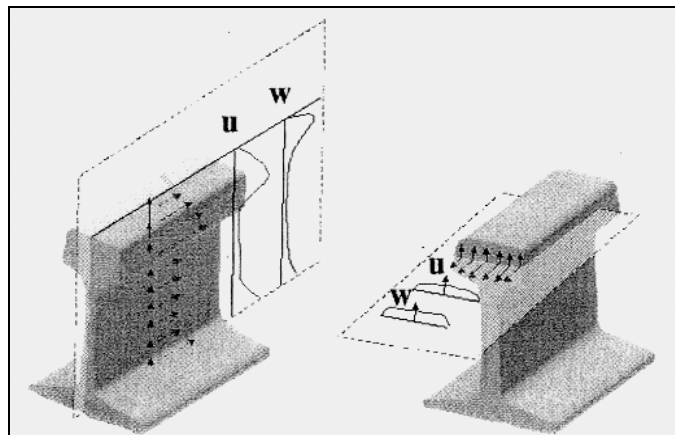
Minden más feltételt változatlanul tartva, a maximális amplitúdó derékszögben beeső hullámirány esetében lép fel. A 80%-os képernyőmagaságnak megfelelő jel esetén a horony irányítottságának minden egyfokos változásával ezzel arányosan 1 dB értékkel változott az amplitúdó. A korrelációs együttható értéke $R = 0,99$ volt (2/B ábra).

A nagyméretű ($19,1 \times 25,4 \text{ mm}^2$) kristály esetén a jel amplitúdója nagyobb volt, mint a ($12,7 \times 12,7 \text{ mm}^2$) kisméretű, tehát az érzékenység függ a mérőátalakító effektív keresztmetszetétől (2/C ábra).

Az ultrahang-frekvenciás jelek amplitúdója és a hornyok mérete közötti összefüggés nagyméretű hornyok esetében nem volt lineáris, mivel az ultrahang-frekvenciás sugárnyaláb mérete ebben az esetben azonos nagyságrendű volt, mint a horonyméret. Viszont amennyiben a keresztmetszet $13,97 \text{ mm}^2$ alatt volt, az összefüggés már lineáris lett (2/D ábra).

Az FHFH próbatetek esetében a maximális detektálási valószínűségnek megfelelő irányszög csak próbálkozással határozható meg. Ezért a vizsgálat érdekében elektronikusan kellene a sín szélessége irányába különböző pontokon, más-más sugárirányítással végigpásztázni a sínfej felületét. Erre a fázisvezérelt technológia vagy a lézersugaras ultrahang-frekvenciás vizsgálat lehetne alkalmas.

A hullámterjedés fizikai sajátosságait vasúti sínek esetében a geometriai viszonyok figyelembevételével lehet érthetővé tenni. A sín természetes hullám-tápvonal. A sínbe jutó hullám terjedésekor interferenciajelenségek érvényesülnek a visszaverődések bonyolult rendszerében. Ezért nem lehet a fej, a gerinc és a talp vizsgálatát azonos módusokon és frekvenciákon elvégezni. A sok száz lehetséges hullámstruktúra egyik példáját mutatja be a 3. ábra.



3. ábra Háromdimenziós hullámstruktúra-eloszlás lehetősége egy sındarabban, R_i módus és F_i frekvencia esetén

Mint ahogy az x, y és z irányú u, v és w elmozdulások érzékeltetik, a sínfejen levő hibát elég megbízhatóan lehetne detektálni, de ez egyáltalán nem érvényes már a gerincre.

Az ultrahang-frekvenciás impulzusokkal végzett vizsgálatok esetében számolni kell annak diszperziós jellegével. Mivel az impulzus a Fourier-elméletnek megfelelően különböző frekvenciájú összetevőkből áll, ezért ezek különböző sebességekkel terjednek a vizsgált anyagban. A sín bonyolult szelvénye következtében ezért csak a véges elemek módszerétől lehet remélni a diszperziós hullámterjedés számszerű értékelését.

Különösen a sínhegesztési hibák kimutatása jelent sok problémát a sínek törésének megelőzése szempontjából. Az egyik brit statisztikai felmérés szerint a mintegy 28 000 km hosszú, folyamatosan hegesztett vasúti sínpályán évi átlagban 800–1000 síntörés fordult elő (három év statisztikája). Ezekből mintegy 200 esetben hegesztési hiba okozta a törést. A hegesztett kötések termit hegesztéssel állították elő. Az (alumino)termit hegesztés minőségének gamma-sugaras vizsgálattal való ellenőrzését kezdeményezték.

Sínhegesztés-vizsgálat

(Alumino)termit hegesztés

Félig csillapított, 0,45–0,65% szén- és 0,95–1,25% mangánötvözésű, szívós, azonban töréssel szemben kevésbé ellenálló sínanyag hegesztett kötéseit kellett átvilágítani.

A tompán illesztett, előkészített, esetleg 200 m hosszú sínszakaszokat a helyszínen termithegesztéssel rögzítették. Két félből álló, előformált homokformát használtak, amely pontosan illeszkedett a sínprofilhoz. Az exoterm porkeverék vas-oxidból, ferromangánból és dezoxidánsból állt. A tűzálló felső tartályból meggyújtott keverék az előmelegített alapanyag-keverékhez ömlik. A kialakuló felöntést az olvadék dermedése után letörik, és a felületi egyenetlenségeket lemunkálják.

A heganyag durva szövetszerkezetű. Általában csupán szemrevételezéssel ellenőrzik a heganyag minőségét. Esetenként ultrahang-frekvenciás módszerrel porozitásvizsgálatot hajtanak végre.

A hegesztett kötés hibái a gravitációs öntésnek megfelelőek lehetnek: zsugorodási hiba, melegrepedés és gázporozitás. Ha az előmelegítés nem volt elegendő mértékű, akkor a teljes keresztmetszetben felszíni pórusok jelentkezhetnek.

A heganyag gamma-sugaras vizsgálata

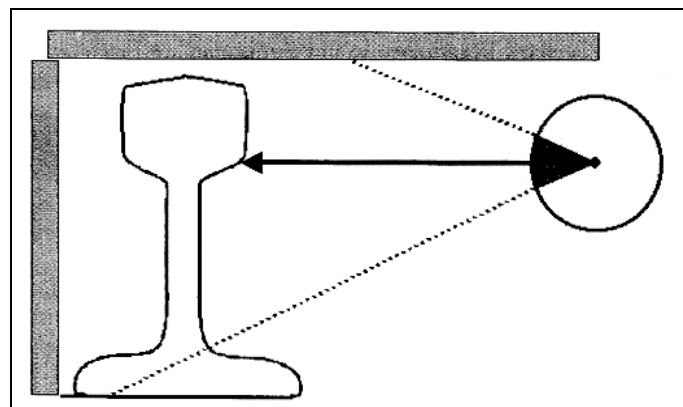
Az öntött heganyag durva szövetszerkezete és a bonyolult szelvénygeometria a teljes keresztmetszet volumetrikus vizsgálatát megnehezítette, illetőleg rendkívül munkaigényessé tette.

A gamma-sugaras vizsgálat filmre való rögzítése hosszú expozíciós időt igényel, még irídium 192 sugárforrás alkalmazása esetében is. Viszont a számítógépes radiográfia módszere esetében ionizáló sugárzásra érzékeny képernyővel folyik a vizsgálat. Ehhez már lényegesen rövidebb expozíciós idő szükséges.

További előny, hogy miután a sugárhatásnak kitett képernyőt digitalizálták, a „komputeres radiográfia” (CR) módszerével felvett képen kontrasztjavítással olyan optimális kép hozható létre, amely a változó hegvastagság ellenére megkönnyíti a hiba kimutatását. Tulajdonképpen nem a kontrasztképet, hanem a kezeletlen képadatokat tárolják digitális formában. A képernyő gyors reakcióképessége következtében kisebb energiájú sugárforrás alkalmazható, azzal az eredménnyel, hogy a kép kontrasztosabb és jobban értékelhető.

A kezdeti próbálkozások után úgy határoztak, hogy szelén 75 izotópot használnak sugárforrásként. A vizsgálatához az OIS cég SCAR (small controlled area radiography, kis ellenőrzött területű radiográfia) rendszerét vették igénybe, amelyet eredetileg az Északi-tengerre telepített olajfúró szigetek vizsgálatára fejlesztettek ki, és ma már az ipar különböző ágazataiban alkalmazzák. Előnye, hogy teljesen biztonságos, és akár szelén 75, akár irídium 192 izotóppal használható. Az izotóp-konténer és a helyi védelmet szolgáló tartozék együttes hatásának köszönhetően a sugárnak kitett terület maximális sugara 3 m. Amennyiben a SCAR rendszerben szelén 75 izotópot használnak, max. 2,6 TBq (kb. 70 Curie) vagy kisebb intenzitással, az ellenőrzött korlátozott terület mérete két méteren belüli lesz.

A hagyományos lapos talpú és gomba sínfejes sínváltozat esetében a teljes heganyag felvételéhez három expozícióra van szükség. Az egyik expozíció a sínfejre és a gerincre terjed ki (4. ábra), míg két másik felvételt 45°-os szögben a talpra irányítanak, hogy az kiterjedjen a gerinc aljára és a talp teljes szélességére.



4. ábra Sínfej/gerinc expozíció irány, valamint a SCAR izotóptartály helyzete a heganyag keresztmetszetéhez viszonyítva

Más sintípusok esetén előfordulhat, hogy további felvételekre is sor kerül.

A sugárérzékeny képernyőt és a CR rendszert (Radview néven) az Agfa cég gyártja. A szoftver gyors és könnyen megvalósítható képkiemelést és adattárolást tesz lehetővé. Szelén 75 felhasználása esetében az expozíciós időnek a legvastagabb sínszelvény esetében mindössze kb. egy percnél kellett lennie a felvételhez.

A képernyős megoldást a szokványos finomszemcsés filmmel összehasonlítva, lényegesen kedvezőbb feltételek érvényesültek: lecsökkent az expozíciós idő, ugyanakkor kisebb sugárzási energiájú izotópot lehetett használni (szelén 75), viszont az érzékenység tökéletesen megfelelt a célnak.

Terepen végzett vizsgálatok

A vizsgálatokat a pályakarbantartási munkákkal egyidőben végezték. A radiográfiai vizsgálóberendezés biztonsága szavatolta, hogy a felvételeket a hegesztett kötésekről más munkálatokkal közös szakaszokon létesített vágányzár közben készítsék.

Pályakocsi-fejlesztés

A SCAR rendszer egészen különleges biztonsági tulajdonságai következtében ideálisan alkalmas radiográfiai pályavizsgálatokra. Az olcsó kivitelezés előfeltétele volt azonban, hogy az izotóptartó (Sentinel típusú) konténert pontosan, mindig azonos helyzetben, gyorsan lehessen elhelyezni.

A vizsgálatok céljaira egyszerű, négykerekű pályakocsit dolgoztak ki, amelyet könnyen lehetett hegesztési varratról varratig továbbítani. A pályakocsit könnyű alumíniumszelvényekből építették össze.

A pályakocsin levő, tetszőleges irányba állítható kar és hüvely teszi lehetővé az izotópkonténer három különböző expozíciós helyzetbe való állítását és ezzel a varrat teljes keresztmetszeti átvilágítását. A megoldás egyik alapvető tulajdonsága, hogy minimális mértékben igényel kézi konténerkezelést. A konténert az expozíciók között nem kell a befogószerkezetből eltávolítani.

A fő sugárnyalábot – miután áthatol a varraton – abszorbeálja egy ólom-pajzs, amelynek tartókerete segítségével mind a jobb, mind a bal sín tetszőleges helyzetbe állítható. A szórt sugárzást oldalt elhelyezett, sugárnyelő anyagból készült függönyök tartják vissza.

Egy beépített, csendes dízelgenerátor termel áramot a lézersugaras pásztázóból, számítógépből és 2,5 Mpixel-es egyszínű monitorból álló Radview rendszer számára. A sugárhatásnak kitett képernyőt a lézersugaras pásztázóba helyezik, amely néhány másodperc alatt elvégzi a felvett kép feldolgozását.

Az egészségügyi hatóságok szerepe

A vonalon végzett radiográfia nem tartozik a pályát fenntartó vállalat normális tevékenységi körébe. Mivel feltételezhető, hogy legtöbb brit vasútvonalon komoly munkára kerül sor, az egészségügyi hatóságok fokozott érdeklődést mutatnak a kezdeti vizsgálatok iránt. A hatóságok számára bizonyítani kellett, hogy a SCAR rendszer biztonságosan üzemeltethető 2 m-en belüli körzetben, és az ennél távolabbi területeken egyáltalán nem veszélyezteti az elő környezetet.

Az egészségügyi hatóságok előírásainak megfelelően sugárveszélyt jelző figyelmeztetéseket helyeztek el a pályakocsi elején és végén. Az izotóppal végzett vizsgálat alatt sugárérzékeny villanófény ad figyelmeztető jelzést. A munkahely környezetében több ponton világító figyelmeztető jelzést helyeznek el.

Az izotópos varratvizsgálat átvételi szabványai

Az előzetes vizsgálatok egyik célja az izotópos átvilágítás eredményeinek átvételi feltételeivel kapcsolatos szabványelőírások kidolgozása volt. A kapott adatok alapján tekintették át a belső hegesztési hibák minősítési kritériumait és készítették elő a specifikációkat.

Amennyiben elfogadhatatlan hegesztési hibát mutattak ki, előírták, hogy záros határidőn belül át kell vágni a kötést és meg kell ismételni a hegesztést. Durva hiba észlelése esetén azonnali rendszabályra hívták fel a figyelmet és a varrat mindkét vége mögött bilincset rögzítettek a sínre.

A brit országos (állami) vasúthálózat radiográfiai vizsgálatai

A brit országos hálózaton szerződéses alapon végzik az izotópos radiográfiai vizsgálatokat. Az előkészítés természetesen időt igényel, mert a vizsgálat szükségessé teszi a forgalom ideiglenes szüneteltetését.

Tekintettel a vizsgálatra kerülő hegesztett varratok nagy számára (becslés szerint több mint 1,5 millió), a feladat több évet vesz majd igénybe. Nyilvánvaló, hogy a gyors vizsgálatok alapján végzett szűrés eredményei mind a pályafenntartók, mind az üzemeltetők számára rendkívül hasznosak.

A megvezetett ultrahang-frekvenciás hullám (más néven nagy távolságú ultrahang-frekvenciás ellenőrzés) technikáját estenként a radiográfiai eljárással párhuzamosan fogják végezni. Ennek előnye, hogy minimális forgalomkorlátozást igényel. Az optimális hatékonyság érdekében a két eljárás eredményeinek korrelációját kell tisztázni.

A radiográfiai módszer továbbfejlesztésének célja az egyes felvételsorozatok meggyorsítása. Ehhez biztosítani kell a sugárforrás és a képernyős érzékelő egyidejű kezelését. Esetleg egy másik izotóp sugárforrásként való fel

használásának lehetőségét is érdemes megvizsgálni, ha ezzel a vizsgálatot meg lehet gyorsítani.

Visszamaradó feszültségek és fáradási jelenségek kimutatása sínekben

A sínfejen visszamaradó feszültségek okozzák jelentős mértékben a belső sínperem sarkaiból kiinduló repedéseket. Ezek kialakulására a még nem egyengetett, új sínek esetében alig kell számítani. A feszültséget csupán a hűtési sebességek eltérései okozhatják.

A görgős egyengetés lényegesen nagyobb (100–300 MPa) és változóbb feszültségeket okoz a sínekben. A sínfejen és -talpban húzó-, a gerincben nyomófeszültségek ébrednek. A forgalom hatására vékony (edzetlen sínek esetében 5–10 mm-es) rétegben a futófelületen nagy nyomófeszültség ébred, amit ellensúlyoz az alsó húzófeszültség.

A feszültségek kimutatásával válik lehetővé a repedés képződésének előrejelzése. Erre módot nyújt a MAPS (mágneses anizotrópián és permeabilitáson alapuló) rendszer, amelynek lényege, hogy a ferromágneses anyagok mágneses tulajdonságai érzékenyek a belső feszültségekre. A kéttengelyű feszültségek ipari viszonyok közötti mérésére fejlesztették ki a MAPS többparaméteres mágneses rendszert. A mérési adatok alapján lehet következtetni a szövetszerkezeti változásokra, a felületsimaság mértékére és bizonyos fokig a geometriai változásokra. Gyakorlati felhasználás céljára a MAPS rendszert adott feszültség szint szerint kalibrálják, majd elméleti összefüggések alapján interpolálást végeznek.

A MAPS hordozható, kombinált műszer, amely 0,1–5 mm mélységig értékelhetővé teszi (lágycél estében) a feszültséget. Korábban lehet megállapítani, mint más módszerek esetében, hogy mennyire hajlamos a sín a repedésképződésre.

(Dr. Barna Györgyné)

Clark, R.; Singh, S.; Haist, C.: Ultrasonic characterisation of defects in rails. = Insight, 44. k. 6. sz. 2002. p. 341–347.

Rose, J. L.; Avioli, M. J.; Song, W. J.: Application and potential of guided wave rail inspection. = Insight, 44. k. 6. sz. 2002. p. 353–358.

Sanderson, R.; Smith, S.: The application of finite element modelling to guided ultrasonic waves in rails. = Insight, 44. k. 6. sz. 2002. p. 359–363.

McNulty, A; McNab, J.: Radiographic examination of alumino-thermic rail welds using the small controlled area radiographic (SCAR) system. = Insight, 44. k. 6. sz. 2002. p. 348–352.

Buttle, D. J.; Dalzell, W.; Thayer, P. J.: Non-destructive residual stress measurement in rail heads and rolling contact fatigue. = Insight, 44. k. 6. sz. 2002. p. 364–368.