

Roncsolásmentes anyagvizsgálat

Non-destructive material testing

Roncsolásmentes anyagvizsgáló tapasztalatok*

Hajdú Béla**

Kulcsszavak: acéltermékek pelyhessége, mozdonytengelyek, ultrahangos vizsgálat
Keywords: hydrogen flaky steel products, engine axles, ultrasonic testing

Summary

Expertises of non-destructive material testing. The formation of flaky cracks caused by hydrogen in steel, the dehydrogenization technologies and the expertises of ultrasonic testing of the hydrogen flaky steel products (Figures 1–5) and engine axles (Figures 6–9 and Table) are presented by the author.

Bevezetés

Amikor az ember közel harminc évet tölt el a szakmában óhatatlanul is összegzi miket végzett, vizsgálatai során mivel találkozott, mit tapasztalt és mi az ami egyedi és érdemesnek tűnik arra, hogy ezen szakmai konferencián elmondja. Szakmai tapasztalatok gyűjtését a valamikori LKM-ben kezdtem, amely a roncsolásmentes vizsgálatok egész széles skáláját alkalmazta hengerelt, öntött, kovácsolt acéltermékek és hegesztett acélszerkezetek minősítésére. Az itt szerzett tapasztalatok és a roncsolásmentes vizsgálattal kimutatható anyaghiányok mai napig is visszaköszönnek.

A régi munkahelyemen is igyekeztem hasznosan tevékenykedni. Irányítottam a roncsolásmentes vizsgálatot, részt vettem a házi szabványok kidolgozásában, így az LKM-9 számú, Kovácsolt termékek szabványt még ma is alkalmazzák. Az automata vizsgálóorok meghonosításában szintén részt vettem.

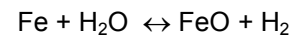
E rövid bevezető után rátérek szakmai közösségünk számára is érdemesnek tartott munkáink ismertetésére.

Vizsgáló tapasztalataink

A pelyhesség okozta repedések kialakulása és kimutatásának eszközei

Ez a téma részemről is már régi, hisz' az UT3 fokozat megvédésékor ebből írtam a szakdolgozatomat. Ezekkel a problémákkal azóta is találkozok, még az utóbbi hetekben is. Legutóbb négy gyűrűt kellett meg nem felelőnek minősíteni ezen hibával. Sajnos ezt az anyaghiányt hibának nevezzük, mert megengedhetőségét, még a legkisebb mértékű előfordulását is, majdnem minden szabvány kizárja.

Az acélban kialakuló belső repedéseket leggyakrabban az acélba került hidrogén okozza. Acélgyártáskor, hegesztéskor az úgynevezett „vízgáz” reakció, azaz az



reakció során felszabaduló hidrogén oldódik a folyékony acélban. Acélgyártáskor, illetve hegesztéskor kisebb nagyobb mértékben mindig jelen van a vízgáz, amelynek minimumra csökkentését a betétanyagok (hozaganyagok, ötvözők), illetve a hegesztőpálca, a védőgáz és a védőpor szárításával igyekeznek elérni.

Munkám során az acélgyártást követő hengerelés, kovácsolás után kialakult pelyhességgel találkoztam, illetve ma is találkozom, amelyre szeretném felhívni a kollégák figyelmét. A pelyhesség kialakulása folyamatának a megértése segít a megelőzésben, azaz a hiba elkerülése érdekében alkalmazható technológiai műveletek (a folyékony acél gáztalanítása, az acéltermék hőkezelése) helyes elvégzésében. Mindezeket az anyagvizsgálóknak is ismerniük kell ahhoz, hogy felismerjék a helytelenül elvégzett technológiai művelet pelyhesedést okozó következményét, a hiba típusát.

Tapasztalatom szerint méltán nevezik a hidrogén okozta pelyhesség kialakulását az acél „tífusz betegségének”, azaz a hidrogéntartalom mértékétől és a technológiai folyamatoktól függően a pelyhesség kialakulása időben „elhúzódó”, folyamat. Van egy ún. inkubációs idő, amely a folyamatot késlelteti. Az anyagvizsgálónak, de leginkább a technológusnak ezt figyelembe kell vennie a késztermék akár ultrahangos, akár makro-tárcsás minősítése időpontjának kiválasztásakor.

Ahhoz, hogy a pelyhesség kialakulásának folyamatát megértsük, elemezzük az 1. ábrát. Az izobár vonalakat a Sievert-törvény a ferritárcsú vas módosulatára a következő képlet szerint adja meg:

$$\lg[\text{H}] = -1454/T + 2,763 + 0,5 \lg p_{\text{H}_2}$$

ahol [H] a hidrogén koncentrációja az acélban; T az abszolút hőmérséklet; p_{H_2} a hidrogén nyomása az acélban, illetve azt a vasban tartó nyomás.

Az 1. ábra a Dr. Verő József – Dr. Káldor Mihály: Vas-ötvözetek fémtana című könyvéből származik, azzal a különbséggel, hogy a jobb oldalra a hidrogéntartalom ppm-ben kifejezett egységét is feltüntettem. Általában

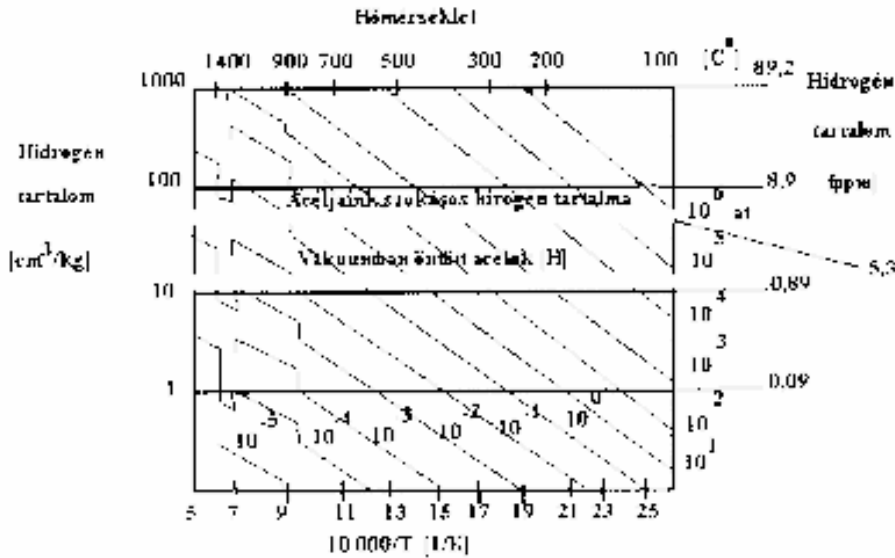
*Az V. Roncsolásmentes Anyagvizsgáló Konferencián (Eger, 2007. márc. 6–9.) elhangzott előadás szerkesztett változata

**laboratóriumvezető, ALBERA '97 Kft.

Roncsolásmentes anyagvizsgálat

Non-destructive material testing

a hidrogéntartalom meghatározását ppm-ben adják meg. Az átszámítás a szakirodalomban használatos cm^3/kg és a ppm között: $1 \text{ ppm} = 11,2 \text{ cm}^3/\text{kg}$.



1. ábra. A hidrogén a vasban oldva tartó nyomás nagysága a hőmérséklet függvényében a Sievert-törvény alapján

Fig. 1: The solubility pressure of hydrogen vs. temperature by the Sievert law

Ezen folyamat időigényes, amely több tényezőnek a függvénye. A hidrogéntelenedés, azaz a hidrogéntartalom oly szintre való csökkenése, amely már biztosan nem jelent veszélyt az acélra függ az induló gáztartalomtól, a keresztmetszettől, a hűtés sebességétől. A gáztalanításnak legegyszerűbb útja a vákuu-

mozó öntés, de ez egyben költséges is. Nem minden acélgyártó rendelkezik ilyen technikával. Kevésbé költséges a pehelyveszély elkerülésére a szabályozott visszahűtés. A 2. és 3. ábra mutatja ennek folyamatát, amelyek Németh Emil: Acélok és nemvasfémek hőkezelése a gyártástechnológiában című könyvének ábrái.

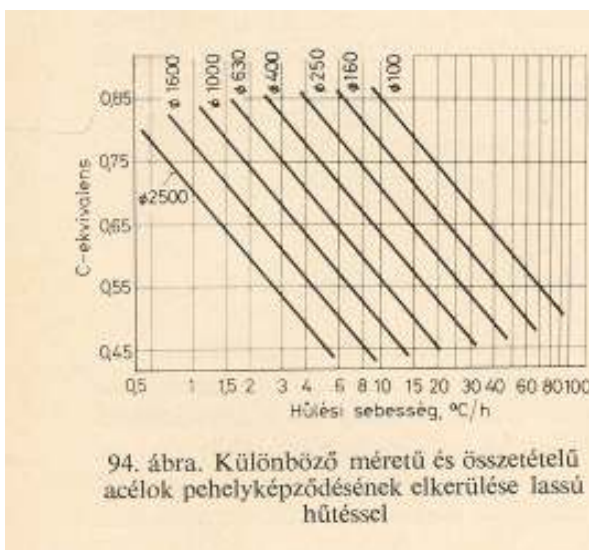


Fig. 2. (94.) ábra. C equivalent vs. cooling rate diagram of different size and composite steels for avoiding of hydrogen flaky

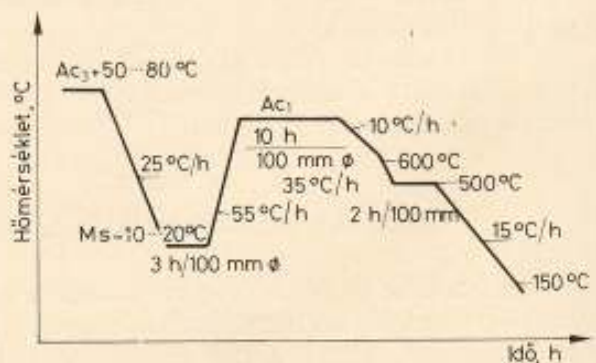


Fig. 3. (95) ábra. Temperature vs. time diagram of the controlled cooling of steels for avoiding of hydrogen flaky

Roncsolásmentes anyagvizsgálat

Non-destructive material testing

Mindezek figyelembevételével tehát ellenőrizni kell, hogy elvégezték-e, és ha igen, helyesen végezték-e el a „pehelytelenítő” hőkezelését. És ez az anyagvizsgáló, leginkább az ultrahangos vizsgáló feladata.

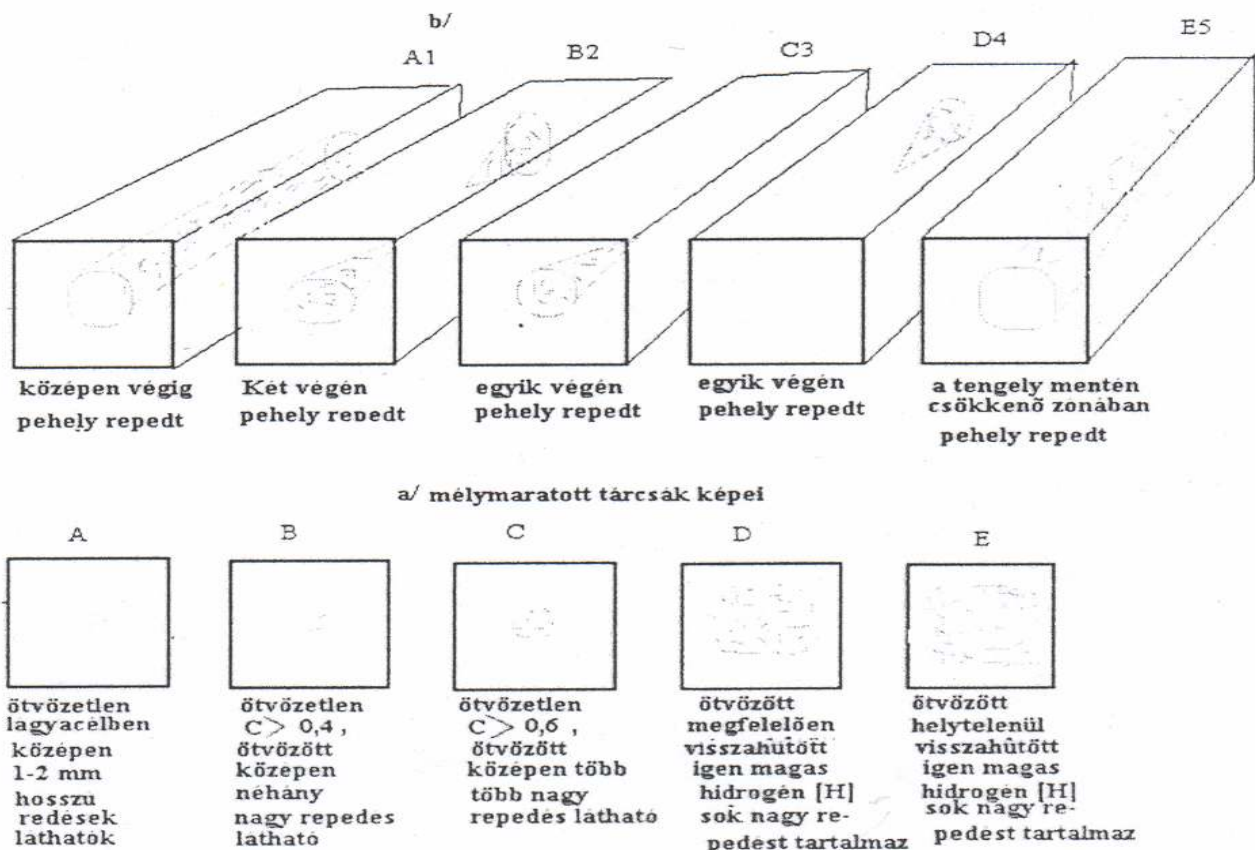
Tapasztalatom szerint az az acél, amelynek hidrogéntartalma folyékony állapotban nagyobb, mint 2 ppm, mindig magában hordozza a pehely kialakulásának veszélyét. Ez függ a technológiai műveletektől (öntés milyen keresztmetszetű öntecské vagy FAM bugává, ezek hengerlése vagy kovácsolása, kapott-e „pehelytelenítő” hőkezelést stb.) Ez a 2 ppm nem egy bűvös határ, de az acélgártás folyamán törekedni kell a kis hidrogéntartalom elérésére (szárítás, üstben vákuumozás megfelelő fürdő mozgatással, mágneses keverés, argon befúvatás stb. is már hatásos, de az igazi a vákuumban való öntés).

Mindezeket azért tartottam szükségesnek elmondani, mert az anyagvizsgálónak a gyártásismeret döntéseinek meghozatalában igen fontos.

Az acélbugák „pehelytelenítő” hőkezelésének helytelen végrehajtása esetén a pehely-repedések térbeli eloszlásának változatait szemlélteti az 4. ábrásor. Ebből is kitűnik, hogy a nagy hidrogéntartalom pelyhesedésre hajlamosítja a gyártott adagot, de nem lehet kimondani, hogy adagjellemző, azaz a megfelelő módszerrel végzett szelektálásnak létjogosultsága van. Véleményem szerint ezt leginkább ultrahangos vizsgálattal lehet megtenni

A hidrogén okozta repedések késleltetett létrejöttének igazolására néhány ultrahangos ernyőkép mutat be a 5. ábrásor..

Pehely repedések eloszlása a keresztmetszetben a/ és a tengely mentén b/

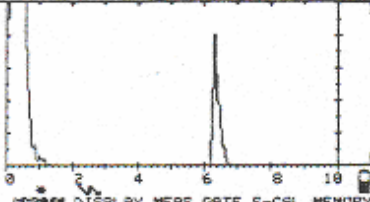
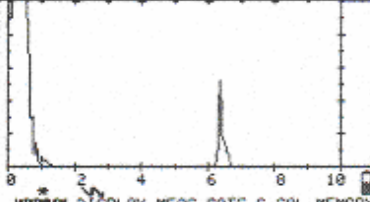
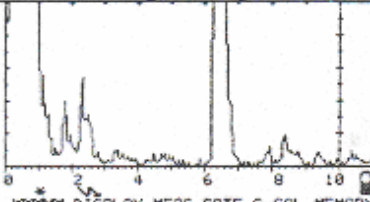
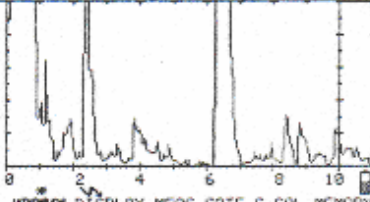
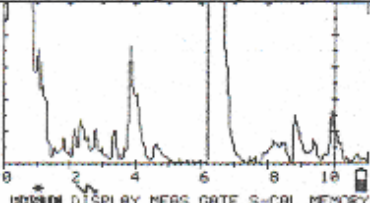
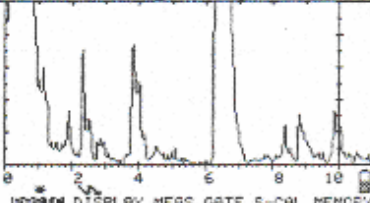
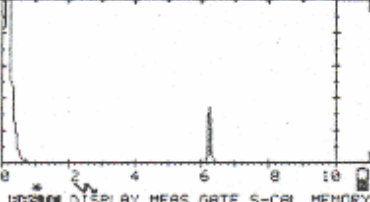
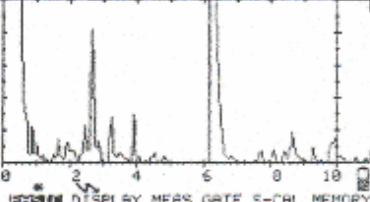
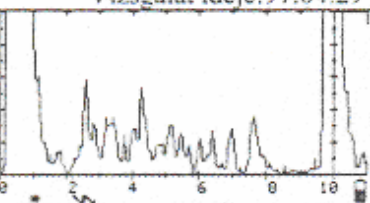


4. ábra. A pehelyrepedések eloszlása a keresztmetszetben (a), ill. a tengely mentén (b)

Fig. 4: Distribution of flake cracks in the cross section (a) and along the axle (b) of steel slabs

Roncsolásmentes anyagvizsgálat

Non-destructive material testing

adag azonosítás	Adsz :424560 min.:09G2SZ méret:#150 Vizsgálat ideje:97.04.25	Adsz :424560 min.:09G2SZ méret:#150 Vizsgálat ideje:97.04.25
UH képek		
Megjegyzés	Hátfalviszhang a buga széléről Készülék:USN 50, vizsgálófej B2S-E. Vizsgálat a buga végén történt.	Hátfalviszhang a buga közepéről (keresztmetszetben nézve)
adag azonosítás	Adsz :424560 min.:09G2SZ méret:#150 Vizsgálat ideje:97.04.25	Adsz :424560 min.:09G2SZ méret:#150 Vizsgálat ideje:97.04.26
UH képek		
Megjegyzés	A felület alatt 50 mm-re 24 óra eltelte után megjelenik a pelyh.	Az előző hibáról készült kép 24 óra múlva, ez 6 KTR-es hibának felel meg.
adag azonosítás	Adsz :424560 min.:09G2SZ méret:#150 Vizsgálat ideje:97.04.26	Adsz :424560 min.:09G2SZ méret:#150 Vizsgálat ideje:97.04.27
UH képek		
Megjegyzés	Egy másik hibás helyről készített kép.	Az előző kép 24 óra múlva, a kb. az 55 mm mélységben lévő hiba növekedett.
adag azonosítás	Adsz :424560 min.:09G2SZ méret:#150 Vizsgálat ideje:97.04.28	Adsz :424560 min.:09G2SZ méret:#150 Vizsgálat ideje:97.04.28
UH képek		
Megjegyzés	A bugaszál közepén vizsgálva egy másik, de ugyanazon típusú B2S-E vizsgálófejjel.	A bugaszál közepén jelentősen kisebbek a hibák. kb. 1.5-2 KTR.
adag azonosítás	Adsz :424560 min.:09G2SZ méret:#150 Vizsgálat ideje:97.04.29	
UH képek		
Megjegyzés	A pelyhézona km: 100 mm-t érte el.	

5. ábra. Öntött acélbuga pelyhesedése időbeni változásának követése ultrahangvizsgálattal
Fig. 5: Following of the time dependence hydrogen flaky of continuous cast steel slabs by ultrasonic testing

Roncsolásmentes anyagvizsgálat

Non-destructive material testing

Mozdonytengelyek roncsolásmentes vizsgálata

A MÁV Zrt. felkérésére a magánszemélyek által alapított társaságunk dolgozta ki 2002-ben a Bz motorvonatok hajtott tengelyének, és 2003-ban a V43 villanymozdonyok isothermos tengelyágának roncsolásmentes vizsgálati utasítását. Röviden bemutatom ezeket és összefoglalom a vizsgálat során észlelt anyagihiányokat, hibákat, a vizsgálatot „zavaró” körülményeket.

A Bz típusú hajtott tengely vizsgálati zónáit és a vizsgálófejeket szemlélteti a 6. ábra.

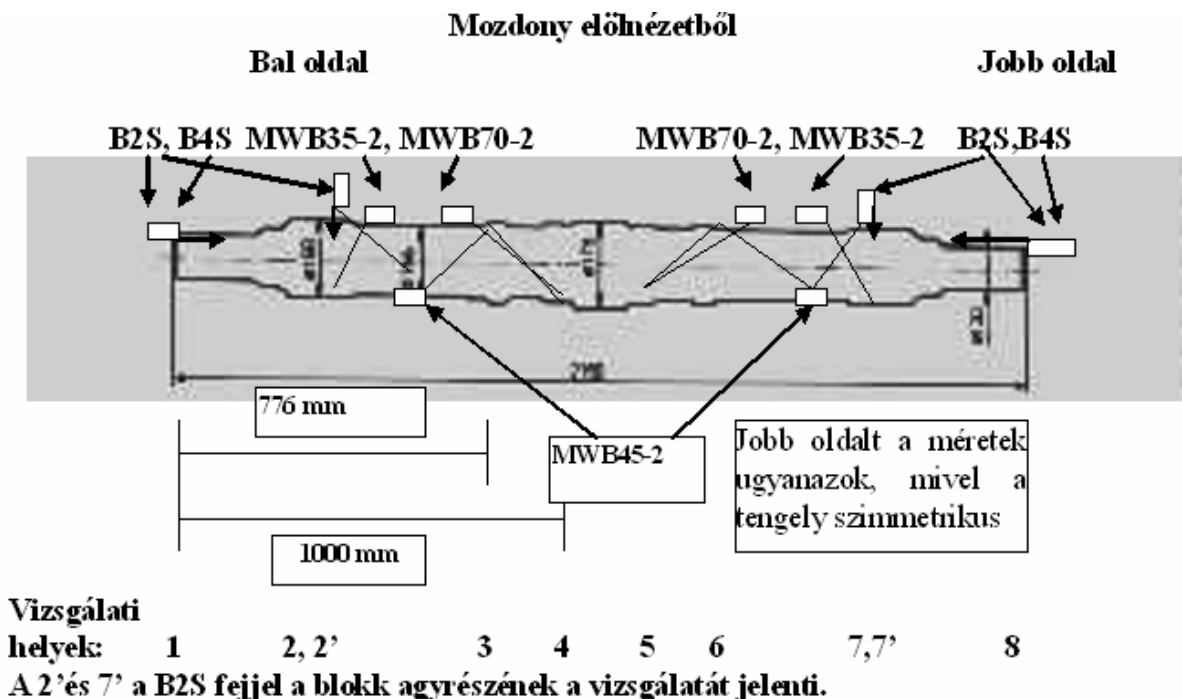
Az általunk kidolgozott, de a MÁV Zrt. tulajdonát képező vizsgálati utasítás szerint 2002-ben végrehajtott átfogó és a további vizsgálatok tapasztalatai a következőkben összegezhetők:

- Szükség volt a gyors és hatékony vizsgálat végrehajtására, mert jelentős mennyiségű meg nem felelő tengelyt szűrtünk ki.
- Az első vizsgálatok tapasztalata alapján a MÁV utasítást adott ki ezen motorvonatok hajtott tengelyeinek megfelelő gyakoriságú vizsgálatára.
- A több mint ötéves tapasztalat azt mutatja, hogy a megfelelő gyakoriságú vizsgálat végrehajtása indokolt, mivel még jelenleg is szűrünk ki meg nem felelő tengelyeket.

A tapasztalataink alapján ez az utasítás most van átdolgozás alatt. A vizsgálat kiterjed majd a futó kerékpárra, valamint a csapágyazott átmeneti rész vizsgálatára is. A futó és a hajtott kerékpár tengelyeinél a vizsgálati helyeket mutatja be a 7. ábra.

A vasúti kerékpártengelyek vizsgálata nem fejeződik be a Bz-vel. Az erre kidolgozott vizsgálati utasítás módosításán dolgozik társaságunk, bevonva ebbe a körbe további mozdonyok kerékpártengelyeinek a vizsgálatát, így a V43, V63 villanymozdonyok tengelyeit is. Ez utóbbiak csak a tengelyvégeikről vizsgálhatók. A vizsgálati utasítások kidolgozása folyamatban van. Az eddigi tapasztalataink, röviden összefoglalva, a következők:

- Elkészítettük azt az „etalon” tengelyt, amely lehetővé teszi, hogy az egyes vizsgálóállomások azonos módon vizsgáljanak.
- A csúcspérből való vizsgálatához készítettünk olyan plexi előtétet, amelyek lehetővé teszik, hogy azonos fejjel különböző szögekben történjen a besugárzás, csak az előtétet kell cserélni.

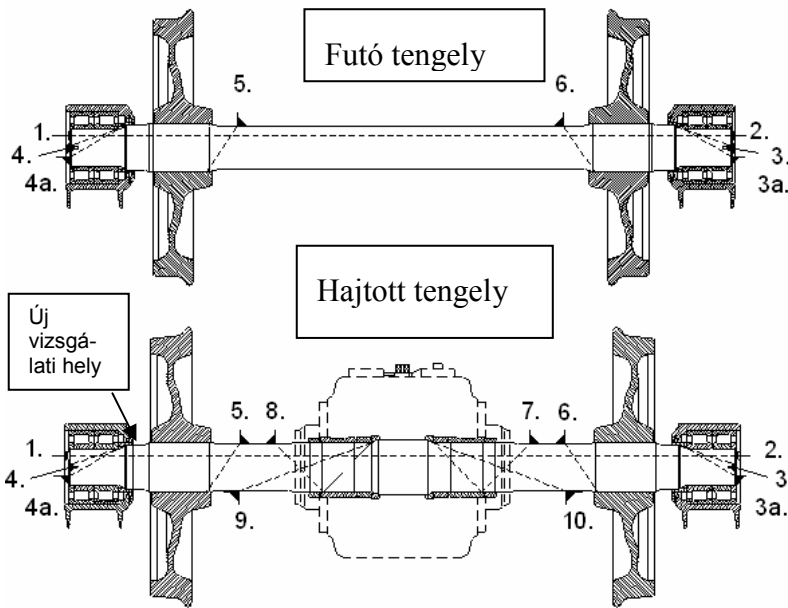


6. ábra. A Bz tengelyének vázlatos rajza és a vizsgálati helyek

Fig. 6: Schematic picture of the Bz engine driven axle and its ultrasonic testing points

Roncsolásmentes anyagvizsgálat

Non-destructive material testing



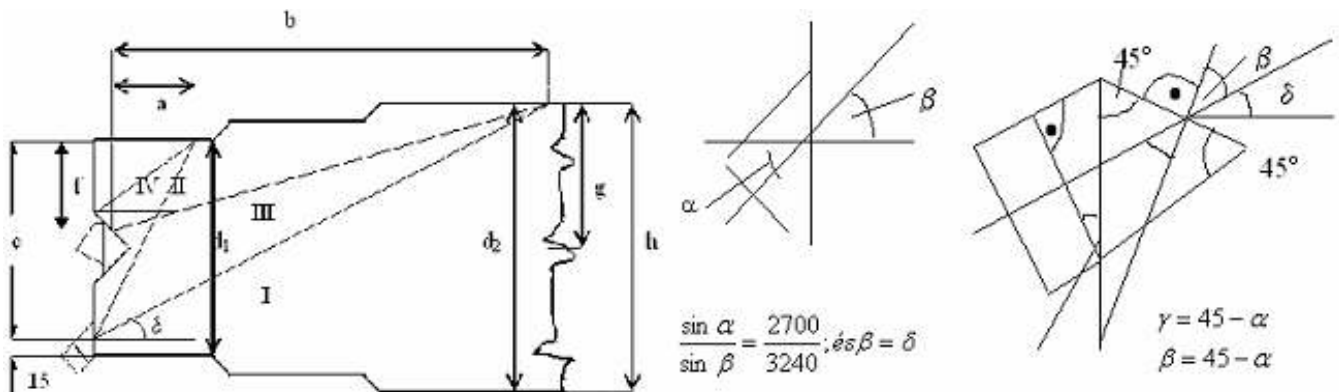
7. ábra. A futó és a hajtott tengelyek ultrahangos vizsgálati helyei

Fig. 7: Ultrasonic testing points of the running and the driven axles

Bemutatjuk a különböző – Bz, V43, V63 – tengelyek vizsgálatánál alkalmazásra kerülő plexi előtétek összefoglaló táblázatát, a besugárzási irányok vázlatával együtt.

Táblázat. A Bz, V43, V63 típusú mozdonytengelyek tengelyvégről történő ultrahangos vizsgálatához szükséges kúp és sík szögfejei

Table: Conic and plan angled probes using to ultrasonic testing form end of engine axles of Bz, V43, V63



Fej jelölése	Tengely típusa	d ₁ mm	d ₂ mm	a mm	b mm	c mm	f mm	g mm	h mm	δ °	α °	β °	γ °		
II	BZ	120		159		105				33,4	27,3	33,4			
IV				149							50	18,5	21,8	26,5	23,2
I	V43	218	235		480				211,5	23,7	17,6	21,3			
II					240		203				40,2	32,5	40,2		
III							460			107,5		13,1	25,8	31,9	19,2
IV						220			99			24,2	21,2	25,8	23,8
I	V63	180	215		461				182,5	21,6	17,8	21,6			
II					165		165				45	36,1	45		
III							441			97,5		12,4	26,6	32,6	18,4
IV						145			80			28,8	13,4	16,2	31,6

β : besugárzási szög acélban

α : beeső sugár szöge plexiben síkfejnél megegyezik a vágási szöggel

γ : vágási szög kúpfej esetén

δ : a befűrészelt horonyra eső hangnyaláb szöge

Roncsolásmentes anyagvizsgálat

A V43 típusú villanymozdony isothermos tengelyágyait – mint már említettem – 2003-tól vizsgáljuk az általunk kidolgozott MU-11:2003 vizsgálati utasítás szerint, amelynek részletezése nélkül néhány fotót jeleníttek meg az ultrahangkészülék kalibrálásáról (8. ábra) és a folyadékbehatolásos vizsgálatról (9. ábra).

A vizsgálat célja: Ezen vizsgálat tipikusan a validálandó vizsgálatok közé tartozik, azaz két referencia testet gyártattunk. Egyik szolgál a mérési tartomány beállítására, másik pedig a megfelelő adhéziós kötéshez szolgál etalonul. Az tengelyágy rézötvszövet, amelyet előmelegítés és alapozás (grundolás)



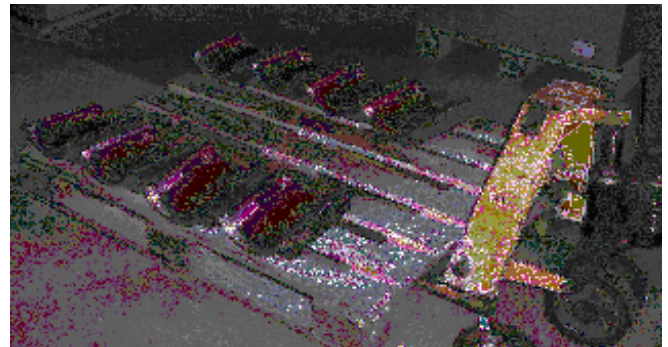
8. ábra. Az ultrahangkészülék kalibrálása
Fig. 8: Calibrating of the ultrasonic device

Non-destructive material testing

után speciális csapágyfémmel öntenek ki. Ezt megmunkálják, majd utána ultrahangos és folyadékbehatolásos módszerrel vizsgálni kell a kötés megfelelőségét.

Az elmúlt négy év vizsgálati tapasztalataként elmondhatom, hogy a kezdeti öntési hiányosságokat a vizsgálati eredmények visszacsatolásával sikerült felszámolni, jelenleg a tengelyágyak élettartama minimum megduplázódott.

A vizsgálati utasítások kidolgozása mögött természetesen olyan csapat munka van, olyan kollektív segítség, amely munka köszönetet érdemel.



9. ábra. A tengelyágy folyadékbehatolásos repedésvizsgálata

Fig. 9: Liquid-penetrant inspection of the axle supports