ISO 24497-1 Szabvány 2018-re tervezett frissítésének magyar fordítása

2017.05.15 Rev2 alapján

MUNKAPÉLDÁNY

Roncsolásmentes vizsgálat —Mágneses memória módszer — MMM

1. rész:
Szószedet és általános követelmények

A fordítás a Trans Lex Work Kft. szellemi tulajdonát képezi.

Tartalom

Előszó 3
Bevezetés 3
Érvényesség 4
Kifejezések és definíciók 4
Általános követelmények 6
A vizsgált tárgyra (VT) vonatkozó követelmények 7
A vizsgáló eszközökre vonatkozó követelmények 8
A vizsgálat előkészítése 9
Vizsgálati eljárás 9
Vizsgálati jegyzőkönyv 11
Biztonsági követelmények és a személyzet képesítése 11
(tájékoztató jellegű) Példa egy jelzés (SEJ) térerősség-eloszlására 12

Előszó

Az ISO (Nemzetközi Szabványosítási Szervezet) a nemzeti szabványügyi hivatalok világméretű szervezete (ISO tagszervezetek). A Nemzetközi Szabványok előkészítési munkáit alapvetően ISO műszaki bizottságok végzik. Minden olyan a témában érdekelt tagszervezetnek, amelyre műszaki bizottságot alapítottak joga van képviseltetni magát az adott bizottságban. Nemzetközi szervezetek, legyen ezek kormányzati vagy nem kormányzati szervezetek, az ISO-val együttműködésben vesznek részt a munkában. Az ISO szorosan együttműködik a Nemzetközi Elektrotechnikai Bizottsággal (IEC) minden elektrotechnikai szabványosítással kapcsolatos ügyben.

A Nemzetközi Szabványok tervezetei az ISO/IEC irányelvek 2. részében található szabályai szerint kerülnek kialakításra.

A műszaki bizottságok fő feladata előkészíteni a Nemzetközi Szabványokat. A műszaki bizottságok által kialakított Nemzetközi Szabványtervezetet szavazásra terjesztik elő a tagszervezetek között. A kiadvány akkor válik Nemzetközi Szabvánnyá, ha a szavazó tagszervezetek legalább 75%-a elfogadja.

Fokozott figyelmet igényel, hogy jelen dokumentum egyes elemei szabadalmi oltalom tárgyát képezhetik. Az ISO nem vállal felelősséget bármely, vagy minden ilyen jellegű szabadalmi jog azonosításáért.

Az ISO 24497 a Nemzetközi Hegesztési Intézet, V. bizottság, *Hegesztett termékek minőségellenőrzése és minőségbiztosítása* által készült, mint a hegesztés terén elismert nemzetközi szabványügyi hivatal a 42/1999 tanácsi állásfoglalásnak megfelelően.

Amennyiben az ISO 24497 bármely ebben a részben található részletével kapcsolatban hivatalos értelmezésre van szükség, azt az ISO Central Secretariat részére kell megküldeni, ahonnan továbbításra kerül az IIW Secretariat részére hivatalos válaszért.

Az IIW V. bizottság a 2016-ban, Melbourne-ben tartott általános közgyűlésén azt a határozatot hozta, hogy jelen szabványt két részben készíti el.

Az ISO 24497 *roncsolás mentes vizsgálat — mágneses memória módszer* megnevezéssel az alábbi részeket tartalmazza:

1. rész:Szószedet és általános követelmény

2. rész:Hegesztett kötések vizsgálata

Bevezetés

Az ISO 24497 ezen részében rögzített kifejezések a mágneses memórián alapuló roncsolás mentes vizsgálati módszer leírásához szükségesek.

Az ISO 24497 ezen részében megadott definíciókat kell alkalmazni a szabvány más részeiben is.

A szabványosított kifejezések vastag betűsek, rövid formájuk pedig vagy rövidítésként (vastag betűsen), vagy betűjellel (normálbetűsen) adottak.

Roncsolás mentes vizsgálat — Mágneses memória módszer —

1. rész: **Szószedet és általános követelmények**

1 Érvényesség

Az ISO 24497 szabvány ezen része a mágneses memórián alapuló roncsolás mentes vizsgálati módszer kifejezéseit és definícióit, valamint a módszer alkalmazására vonatkozó általános követelményeket határozza meg.

Az ISO 24497 szabvány ezen részében megadott kifejezések alkalmazása kötelező minden olyan dokumentációban és szakirodalomban, amely mágneses memória módszert használó roncsolás mentes vizsgálatról szól.

E roncsolás mentes vizsgálati segédmódszer céljai a következők:

Ferromágneses tárgyak magnetomechanikai állapotában fennálló egyenetlenségek meghatározása, a hibakoncentráció, a fém mikroszerkezetében lévő egyenetlenségi határok és hirtelen geometriai változások észlelése.

A sajáterőtér indikáció helyeinek megállapítása a mikroszerkezet további elemzéséhez és/vagy roncsolás mentes vizsgálatához és értékeléséhez.

A vizsgált tárgy fáradásos hibáinak korai felismerése és szerkezeti élettartamának értékelése.

Új és használt gépalkatrészek mágneses egyenetlenségén alapuló gyors szétválogatása további vizsgálatokhoz.

A roncsolás mentes vizsgálat hatékonyságának növelése az MM-módszer és más RMV-módszerek (ultrahangos vizsgálat, röntgen stb.) együttes alkalmazásával, a legvalószínűbb hibahelyek gyors észlelése révén.

Különféle hegesztett kötések és a hegesztett elemek (ideértve a kontakt- és ponthegesztést) minőség-ellenőrzése, lásd a szabvány 2. részét az ilyen alkalmazás részleteihez.

2 Kifejezések és definíciók

E dokumentum a következő kifejezéseket és definíciókat alkalmazza.

Az ISO és az IEC szabványosítás céljából terminológiai adatbázisokat tart fenn a következő címeken:

— IEC Electropedia: a http://www.electropedia.org/ címen érhető el

— ISO Online böngészhető felület: a http://www.iso.org/obp címen érhető el

2.1.
mágneses memória
MM
a ferromágneses tárgyak mágneses állapota függ attól, hogy a múltban hogyan változott a mágneses mező, ami csupán a magnetomechanikai hiszterézis definícióját adja. Adott mágneses mezőben (pl. a Föld mágneses mezeje) egy ferromágneses tárgy remanens mágnesezettsége a megmunkálás vagy működés során olyan környezeti tényezők hatására változik meg, amelyek befolyásolják a mágneses

domén eloszlását [35] (pl. hőmérséklet, mechanikai terhelés [6,7,8,9,10,17], az anyag mikroszerkezetében bekövetkezett változások).

2.2.
mágneses memória módszer
MMM
a mágneses mezők múlttól való függése (ld. 2.1) adja a roncsolás mentes, mángeses fluxusszivárgás-vizsgálat (MFSz) alapját külső (aktív) mágnesezés nélkül. A passzív MFSz megközelítés kulcsszava a mágneses memória módszer. A módszer a vizsgált tárgy saját külső mágneses erőtere (SE) felszíni eloszlásának mágneses térre érzékeny szenzorok használatával történő mérésén és elemzésén alapszik.

2.3.
saját külső mágneses erőtér
SE
egy mágneses anyag mágneses erőteret hoz létre mind saját térfogatán belül, mind az azt körülvevő térben. Az anyag mágnesezettségi eloszlása folytán kialakuló erőtér a testen kívül a saját külső erőtér, és a testen belül a saját belső erőtér (demagnetizáló erőtér). A saját belső és külső mágneses erőtér mindig létrejön, ha a mágnesezettség nem egyenletes vagy van normál irányú komponense egy külső, vagy belső felületre [46].

MEGJEGYZÉS: A saját külső erőtér nagyságának lokális és nagymértékű megváltozása egyenetlen anyagtulajdonságokat jelezhet.

2.4.
vizsgált tárgy
VT
a vizsgált tárgy

2.5.
saját külső mágneses térerősségvektor
$\boldsymbol{H}_{\mathbf{SE}}$
a vizsgált tárgy felületén mért, passzív mágnesestér érzékeléssel meghatározott mágneses térerősség nagysága és iránya.

2.6.
Sajáterőtér indikáció
SEI
mágneses jelzés, amelyet saját külső térerősség hirtelen és lokális megváltozása jellemez a vizsgált tárgy felületén. A SEI olyan helyeken alakul ki, ahol a lokális mágneses permeabilitás megváltozik. Ennek oka lehet hibakoncentráció (pl. repedések, pontkorrózió), a fém mikroszerkezetében lévő erős egyenetlenségek határa, szennyeződés, hirtelen geometria változás [24,25], belső és külső felületek [46], a vizsgált tárgy szétválása, irreverzibilis alakváltozás (nagy diszlokáció sűrűséggel) és a kémiai összetétel megváltozása (pl. kiválás). A nagy mechanikai feszültség-/terhelés gradiens is lokális saját külsőerőtér forrásnak tekintendő [6,7,8,9,10,17,47].

MEGJEGYZÉS: A SEI nem feltétlenül hibajelzés, ld. A. melléklet.

2.7.
saját külső térerősség-gradiens
$\boldsymbol{K_{SE}}$
a saját külső térerősség nagyságának helyzeti és/vagy tranziens változása. A saját külső térerősség-gradiens K_{SE} az (1) képlettel számítható ki, és össze kell hasonlítani korábbi mérésekkel, ha lehetséges.

2.8.
saját külső térerősség-gradiens mediánja
$\boldsymbol{K_{med}}$
a saját külső erőtér komponenseinek karakterisztikus meredeksége A VT alakjának anizotrópiájával és

annak mágneses polarizációjával függ össze. Ha a VT mágnesezettségi állapota a működési feltételek előtt nem ismert, a gradiens ad becslést a VT megfelelő állapotára.

MEGJEGYZÉS: A gradiens mediánjának megváltozása a periodikus mérések között, vagy a üzemi állapot és üzemi terhelés nélkül mért értékek eltérése magnetomechanikai hatásokkal függhet össze.

2.9.
mágneses index
m
a mágneses index m a (2) képlettel számítható ki és a SEI kiértékeléséhez használatos.

2.10.
szomszédos letapogatási nyomvonalak közötti távolság
Δy
a mérőfejekben lévő szenzorok középpontja közötti távolság

2.11.
saját külső mágneseserőtér-diagram
a saját külső erőtér eloszlásának és/vagy a saját külső térerősség-gradiens és/vagy a saját külső térerősség-gradiens mediánjának ábrázolása a letapogatási nyomvonal függvényében

2.12.
diszkrét mintavételi távolság a letapogatási nyomvonalon
Δx
a mágneses erőtér nagyságának két szomszédos mérési pontja közötti távolság

MEGJEGYZÉS: A mintavételi távolság hatással van a saját külső térerősség-gradiensre K_{SE}.

2.13.
szenzortávolság
a VT felülete és a mágneses mérőfej érzékelő területének/térfogatának középpontja közötti távolság

MEGJEGYZÉS: A kis szenzortávolság alapvető fontosságú a SEI megbízható értékeléséhez.

3 Általános követelmények

3.1. Az MM-módszer a ferromágneses tárgyak SEI eloszlásának mérésén és elemzésén alapszik. A visszamaradó mágnesezettség tükrözheti a ferromágneses fémes összetevők, köztük a hegesztett kötések mikroszerkezetbeli technológiai múltját. A VT megmunkálása vagy üzemi élettartama során jelen lévő mágneses terekben kialakult visszamaradó mágnesezettség által létrehozott SE-t kell mérni a vizsgálat során.

3.2. Az MM-vizsgálat lehetővé teszi a sajáterőtér indikáció (SEI) észlelését és javaslatot tesz edények, csővezetékek, berendezések (pl. gőzgenerátorok, turbinák, hőcserélők, sínek) és acélszerkezetek hegesztett kötéseinek további roncsolás mentes vizsgálatára (ld. ISO 24497 2. rész).

MEGJEGYZÉS: Alkatrészek és gépgyártásban használt termékek, mint vizsgált tárgyak esetén a fémben lévő SEI-t a gyártástechnológia (fúzió, kovácsolás, hengerlés, forgácsolás, sajtolás stb.) határozza meg.

3.3. Az MM-módszer alkalmazandó minden ferromágneses tárgy, illetve olyan termékek vizsgálatához, amelyek metastabil ausztenites acélból, acélötvözetekből, öntött vasból készültek, ideértve a hegesztett kötéseket is, a VT fázisátalakulásai vagy revéje miatt.

MEGJEGYZÉS: A metastabil ausztenites acélok akkor vizsgálhatók, ha a mikroszerkezetük érzékeny a γ–α fázisátalakulásra [18]. A SEI értékelése a ferromágneses fázisra korlátozódik.

3.4. Az MM-módszer hőmérsékleti tartománya a kezelő (RMV-t végző személy) számára normál és biztonságos munkatartomány. A vizsgálati eszközöknek –20 °C és +60 °C között kell működőképesnek lenniük.

4 A vizsgált tárgyra (VT) vonatkozó követelmények

4.1. Az MM-módszer alkalmazása során a berendezéseket és szerkezeteket meg kell vizsgálni mind üzem közben (terhelés alatt), mind karbantartás alatt (a munkaterhelés megszüntetése után), amennyiben ez lehetséges.

MEGJEGYZÉS: Amennyiben lehetséges, meg kell állapítani a VT használatba vétel előtti állapotát.

4.2. Ha a vizsgálat során a VT nem a működési helyén van, akkor meg kell vizsgálni és a vizsgálati jegyzőkönyvben dokumentálni kell a működés helyén és a vizsgálat helyén fellépő környezeti SE-ket.

4.3. Felületi bevonat és előkészítés nem szükséges. A szigetelés eltávolítása javasolt. Bizonyos esetekben a nem mágneses szigetelés megengedhető a vizsgálat során. Minden megengedhető szigetelő réteget kísérleti úton ellenőrizni kell. Az eredményt csatolni kell a vizsgálati jegyzőkönyvhöz.

4.4. Az MM-módszer alkalmazásának korlátozó tényezői a következők:

— a VT demagnetizálódása és szándékos mágnesezése;

— idegen környezeti elektromágneses erőterek jelenléte a vizsgált tárgy közelében, a vizsgált terület közelében;

— a hőmérséklet-változás befolyásolhatja a vizsgálat eredményét (pl. termoremanencia);

— a szenzor VT-től mért távolsága (szenzortávolság) és annak megváltozása a mérés során.

4.5. A VT-ban bekövetkező erős hőmérséklet-változás megváltoztatja a termoremanens mágnesezettséget, amit számításba kell venni a vizsgálati eredmények feldolgozása során, amennyiben lehetséges.

4.6. A VT körüli SEJ forrásai a következők:

A VT alakja és geometriája (változások a geometriában és a VT élei) SEJ-források, és figyelembe veendők, mivel a felületi egyenetlenségek erős helyi saját külső és belső erőtér forrásai [24,25,46].

— a vizsgált felület közelében lévő nagy és heterogén mágneses térerősség-források;

— idegen ferromágneses anyag jelenléte a vizsgált tárgyon, és a vizsgált terület közelében;

— külső mágneses mező és/vagy a hegesztéshez használt elektromos áram a vizsgált tárgynál;

— lokális „mesterséges” mágnesezettség jelenléte, korábbi mágneses mezők eredményeképpen;

mágneses anizotrópiaforrások: a tárgy alakja, kristályrácsszerkezete és mikroléptékű felülete;

nagy mechanikai feszültség-gradiensek jelenléte

MEGJEGYZÉS: Minden fent említett forrás befolyásolja a SEI értékelését (ld. A. melléklet).

5 A vizsgáló eszközökre vonatkozó követelmények

5.1. A mérőrendszer és a szenzorok működési elvét, kezelését, kalibrálását, működési tartományát és korlátait egyértelműen dokumentálni kell a vizsgálati jegyzőkönyvben.

5.2. A működési elvnek olyan érzékeny mágneses szenzorokon kell alapulnia, amely érzékeli a VT felületének közelében lévő SE-t. A méréshez alkalmazhatók mágnes érzékeny mérőeszközök (pl. fluxus-transzduktor) magnetométer vagy gradiométer konfigurációban.

5.3. Az MMM-műszernek rendelkeznie kell a vizsgálati paramétereket mutató kijelzővel, egy mikroprocesszor-alapú digitális adatgyűjtővel és tárral, valamint a szenzorok mozgásának pozíciókódoltnak kell lenni. Egy külső számítógépes interfésznek lehetővé kell tennie a külső adattárolást, az eredmények lekérdezését és nyomtatását. A műszerhez külső kiértékelő szoftvert kell biztosítani.

5.4. A szenzor típusát a módszer és az adott vizsgálati feladat határozza meg. A berendezésnek legalább két mérési csatornája legyen. Az egyik a VT SE méréséhez, a másik a környezeti mágneses mezők hatásának kompenzációjához. Ha a vizsgálat gradiométerrel történik, ezt dokumentálni kell a vizsgálati jegyzőkönyvben.

5.5. A szenzort egy letapogató segítségével kell irányítani, és egy pozíciókódolónak meg kell határoznia a tényleges szenzorpozíciót a letapogatási nyomvonalon. Olyan VT esetén, amelyen nehézkes a letapogató használata, a valós idejű adatgyűjtés megengedett kódoló berendezés használata nélkül.

5.6 A következő tényezők befolyásolják az SE mérését:

— szenzortávolság a VT felszínétől;

— a szenzor mintavételi gyakorisága a VT felszínén;

— a szenzor érzékenysége;

— a szenzor mérete;

— a szenzor érzékeny iránya a VT-hoz képest;

— a szenzor elfordulása a környezeti erőtérforrásokhoz képest (pl. a Föld mágneses mezeje).

5.7. Az MMM-műszernek meg kell felelnie legalább a következő minimális követelményeknek:

— a mágneses SE mért nagyságának relatív hibája szenzoronként nem haladhatja meg az 5%-ot;

— a szenzor érzékenységi tartományának nagyságrendje nT/sqrt(Hz) és µT/sqrt(Hz) közé essen;

— a hosszmérés relatív hibája nem haladhatja meg az 5%-ot;

— a szenzorok mérési tartománya nem lehet kevesebb, mint ± 1 000 A/m legalább 1 A/m felbontás mellett;

— a maximális mintavételi távolságnak (a szomszédos mintavételi pontok közötti távolság) a szenzor méretének nagyságrendjébe kell esnie, 1 mm vagy annál kevesebb legyen;

— a szenzorok és a rendszer által generált elektromos zaj szintje nem haladhatja meg az± 5 A/m-t.

6 A vizsgálat előkészítése

6.1. Az előkészületnek a következő alaplépések kell tartalmaznia:

— a VT műszaki dokumentációjának elemzése és a VT-táblázat előkészítése (vizsgálati terv, VT-naplóállomány előkészítése);

— szenzorok és berendezések kiválasztása;

— a vizsgálat írásos folyamatának elkészítése;

— a műszerek és szenzorok beállítása és kalibrálása az írásos utasítások alapján;

— a VT felosztása különálló vizsgálati területekre és vizsgálati egységekre, valamint ezek rögzítése a VT-naplóállományban;

6.2. A VT műszaki dokumentációjának elemzése a következőket foglalja magában:

— információ az acélosztályokról, valamint a kiválasztott vizsgálati területek kiterjedéséről és elhelyezkedéséről;

— a VT működési módjainak elemzése, illetve a lehetséges hibák (sérülések) okai

— a VT felületének állapota (pl. revés, polírozott, rozsdás, festett);

— a VT geometriája, a hegesztett kötések kivitele és elhelyezkedése.

7 Vizsgálati eljárás

7.1. A vizsgált tárgy mágnesezettsége általában ismeretlen. A SE három derékszögű komponensét a VT felülete mentén kell mérni a műszer szenzorával történő folyamatos vagy diszkrét letapogatással. A szenzor irányítottságának egybe kell esnie a mérési iránnyal; máskülönben ezt dokumentálni kell a vizsgálati jegyzőkönyvben.

A mérési nyomvonalaknak sűrűn kell behálózniuk a vizsgált tárgy felületét. A VT felületén mért $H_{SE,z}$ kiugró változásait meg kell határozni és rögzíteni kell a mérőrendszerrel.

Az eredményül kapott térerősség ||H|| abszolút értéke az (1) képlettel számítható ki:

$$\|H_{SE}\| = \sqrt{H_{SE,x}^2 + H_{SE,y}^2 + H_{SE,z}^2} \text{ [A/m]} \qquad (1)$$

ahol

$H_{SE,x}$ és $H_{SE,y}$ a SE két, egymásra merőleges, érintő irányú komponense és

$H_{SE,z}$ a SE normál irányú komponense.

Hosszúkás tárgyak esetén, ahol az egyik dimenzió (hossz) nagyságrendileg nagyobb a másik két dimenzióhoz (vastagság, szélesség vagy átmérő) képest, elégséges lehet csak a normál irányú komponens $H_{SE,z}$ mérése.

Ha a SE egyik síkbeli komponense alig tér el a környező erőtértől (pl. a Föld mágneses mezeje) vagy közel zérus a teljes mérési nyomvonalon, az erre az irányra merőleges kétdimenziós hibák (pl. repedések) észlelése alig lehetséges. Ha mindkét síkbeli dimenzió zérushoz közeli, a SEI értékelése nem javasolt.

Ha a VT saját külső térerejének domináns iránya nem esik egybe a mérés nyomvonalával, a mérést ebben az irányban újra el kell végezni. Máskülönben bázisváltás után kell elvégezni a további kiértékelő lépések számításait a mérési nyomvonalak és a (belső) erőtér fő iránya között. A SE irányának elfordulása a periodikus mérések között magnetomechanikai hatásokat jelezhet.

7.2. A SEI kvalitatív meghatározásához a H_{SE} saját belső mágneses térerő [7,16,19,22,24,46] nagyságának az i komponens [i = x,y,z] irányú megváltozását jelző $K_{SE,i}$ gradiens kiszámításához az (1) képletet kell alkalmazni:

$$K_{\|SE\|,i} = \frac{|\Delta\|H_{SE}\||}{\Delta i} \text{ [A/m}^2\text{]} \quad (1)$$

vagy külön

$$K_{SE,i} = \frac{|\Delta H_{SE,i}|}{\Delta i} \text{ [A/m}^2\text{]} \quad (2)$$

ahol

$\Delta H_{SE,i}$ a $H_{SE,i}$ térerő különbsége két szomszédos letapogatási pont között;

Δi pedig e szomszédos pontok közötti távolság.

7.3. A normális és vagy tangenciális komponensek magas $K_{SE,i}$ értékei a SEI-ek. A mágneses erőtér összes normál irányú és síkbeli komponensének $K_{med,SE,i}$ mediánját ki kell számítani a vizsgált tárgyon föltárt összes SEJ-re. Az élhatások és geometriai változások értékelése kerülendő, mind a $K_{SE,i}$ mind a $K_{med,SE,i}$ tekintetében. A SEI lokális hibával/hibakoncentrációval függhet össze.

7.4. Ahol a SE normális komponense és a mérési nyomvonalak meredekségének mediánja metszik egymást, azok a pontok SEJ-ek, ha a metszéspontokon a SE legalább egy síkbeli komponensének nagysága is magasabb.

7.5. A $K_{med,i}$ meghatározása után minden $K_{SE,i}$ értékre ki kell számítani az *m* arányt:

$$m_i = \frac{K_{SE,i}}{K_{med,i}} \quad (3)$$

Az m_i és a $K_{SE,i}$ értékeket a SE minden komponensének irányában ki kell számítani.

Ha az m_i meghalad egy jól definiált küszöbértéket, akkor érvényes megállapítást lehet tenni a VT anyagállapotára vonatkozóan.

MEGJEGYZÉS: Az m_i küszöbérték azonos geometriájú és azonos gyártástechnológiával készült anyagból álló tárgyakra akkor határozható meg, ha a hiba- vagy működési határt más roncsolásos vagy roncsolás mentes vizsgálat alapján adták meg; máskülönben $m_i = 1$ és $K_{SEJ,i} :> K_{med,i}$.

7.6. Azok a területek, amelyeken az m mágneses paraméter meghaladja az m_i küszöböt, SEJ-ek.

7.7. A VT hiteles értékeléséhez a mért adatokat vizualizálni kell, ha lehetséges. Az ábrákat csatolni kell a vizsgálati jegyzőkönyvhöz.

7.8. További, más roncsolás mentes módszerrel végzett vizsgálatokat kell végezni a SEJ értékek környezetében, ha a VT üzemben marad [14]. Így ki lehet választani a vizsgált tárgy reprezentatív területeit további vizsgálatok céljából.

8 Vizsgálati jegyzőkönyv

8.1. A vizsgálat eredményeit a vizsgálati jegyzőkönyvben kell összegyűjteni, amelynek legalább a következő adatokat kell tartalmaznia:

— a vizsgált tárgy neve és a VT azon részeinek megnevezése, ahol SEI volt észlelhető;

— aH_{SE} nagysága a pozíciókkal együtt, valamint a K_{SE} kiugró értékei SEI-enként;

— a SEI további vizsgálata más RMV eljárásokkal;

— szemrevételezés eredményei;

— a VT hibamentes üzemideje az üzembeállítástól kezdve, ha ismert;

— szenzortávolság;

— külső mágneses mezők iránya a mérési nyomvonalhoz képest (pl. a Föld mágneses mezeje);

— az MMM-vizsgálathoz használt eszköz (gyártmány és sorozatszám, szenzorok, érzékenység, magnetométer/gradiométer);

— a VT végleges elfogadása;

— vizsgálat dátuma, a vizsgáló neve és aláírása.

8.2. A jegyzőkönyvhöz csatolni kell egy VT-naplóállományt a vizsgált területek és az észlelt SEI-ek megjelölésével.

8.3. Az elemzett eredmények végkövetkeztetését, a VT állapotának jellemzésével, a nyert eredmények alapján kell levonni.

8.4. A vizsgálati jegyzőkönyvet meg kell őrizni legalább a VT következő vizsgálatáig.

9 Biztonsági követelmények és a személyzet képesítése

9.1. Csak az MM-módszer alkalmazására kiképzett személy végezheti el a vizsgálatot.

9.2. Az MMM-vizsgálatot végző személynek be kell tartania az ipar számára előírt, helyi biztonsági követelményeket.

9.3. A vizsgálat folyamatának megkezdése előtt a vizsgálatban részt vevő minden személynek megfelelő munkavédelmi oktatáson kell részt vennie, melynek tartalmát dokumentálni kell.

Az oktatásért felelős személynek mérnöki szintű képesítéssel kell rendelkeznie (az ISO 9712 szerinti III. szint).

9.4. A vizsgálat alatt az adott ipari környezetnek megfelelő munkavédelmi felszerelést kell viselni.

9.5. Ha a vizsgálat magasban történik, a biztonsági szabvány követelményeinek eleget tevő, megfelelő állvány, beülő és kötél eszközöket kell alkalmazni. Az állvány, létra, beülő eszközöknek meg kell felelniük a helyi biztonsági szabványoknak.

(tájékoztató jellegű)

Példa egy jelzés (SEJ) térerősség-eloszlására

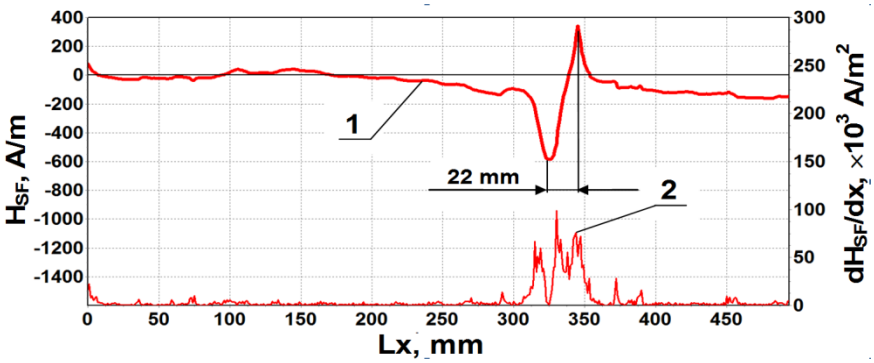
Az A.1 ábra egy centrifugális szivattyú tengelyének megmunkálásához használt, 22 mm átmérőjű acélhenger MMM vizsgálati eredményeit mutatja.

Az A.1(a) ábra a letapogató készülék helyét mutatja a rúd vizsgálata során.

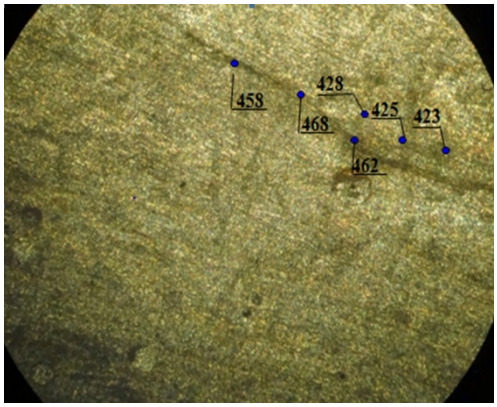
Az A.1(b) ábra a $H_{SE,x}$(x) térerősség normális komponensének eloszlását (1) és a $|dH_{SE,x}|/dx$ rúd x-tengelye menti térerősség-gradiens abszolút értékét mutatja. A normális komponenshez tartozó SEI szekvenciális irányváltozást mutat és metszi az x-tengelyt és/vagy a mérési nyomvonal mediánját (2).

Az A.1(c) ábra a SEI csiszolatát mutatja *(2).* A vonalalakú szerkezet a mellette lévő anyaghoz viszonyítva megnövekedett keménységértékei kohászati hibára utalnak. Erre korábban feszültségkoncentráció-zónaként (SCZ) hivatkoztak.

a)



b)



c)

A.1 ábra 22 mm átmérőjű rúd vizsgálatának elrendezése és eredményei:
a – a letapogató eszköz helye a rúd vizsgálata során,
b – $H_{SE,x}$(x), a térerősség normális komponensének eloszlása (1) és $|dH_{SE,x}|/dx$, a rúd x-tengelye mentén mért térerősség-gradiens abszolút értéke,
c – a rúd SEI-jel egybeesik a keresztmetszet csiszolatán található *(2)*

Bibliográfia

(1) S. M. Kolokolnikov, Determination of the mechanical properties of weld metal on the basis of the hardness parameters in stress concentration zones detected by the method of magnetic memory of metal, Weld. Int. 28 (12) (2014) 983_988. doi:10.1080/09507116.2014.884332.

(2) D. C. Jiles, Theory of the magnetomechanical effect, J. Phys. D. Appl. Phys. **28** (8) (1995) 1537-1546. doi:10.1088/0022-3727/28/8/001.

(3) D. J. Craik, M. J. Wood, Magnetization changes induced by stress in a constant applied field, J. Phys. D. Appl. Phys. **3** (7) (1970) 1009-1016. doi:10.1088/0022-3727/3/7/303.

(4) J. M. Makar, B. K. Tanner, Effect of plastic deformation and residual stress on the permeability and magnetostriction of steels, J. Magn. Magn. Mater. **222** (2000) 291-304. doi:10.1016/S0304-8853(00)00558-8.

(5) L. Li, S. Huang, X. Wang, K. Shi, S. Wu, Magnetic field abnormality caused by welding residual stress, J. Magn. Magn. Mater. **261** (3) (2003) 385-391. doi:10.1016/S0304-8853(02)01488-9.

(6) A. Dubov, A study of metal properties using the method of magnetic memory, Met. Sci. Heat Treat. **39** (9-10) (1997) 401-405. doi:10.1007/BF02469065.

(7) M. Roskosz, M. Bieniek, Analysis of the universality of the residual stress evaluation method based on residual magnetic field measurements, NDT E Int. **54** (2013) 63-68. doi:10.1016/j.ndteint.2012.12.004.

(8) E. Schneider, A. A. Dubov, Zerstörungsfreie Charakterisierung des Eigenspannungszustandes mit der Metall Memory Methode (MMM), in: DGZfP-Jahrestagung, 2007, pp. 1-8.

(9) S. G. H. Staples, C. Vo, D. M. J. Cowell, S. Freear, C. Ives, B. T. H. Varcoe, Solving the inverse problem of magnetization-stress resolution, J. Appl. Phys. **113** (13) (2013) 133905. doi:10.1063/1.4799049.

(10) L. Dong, B. Xu, S. Dong, L. Song, Q. Chen, D. Wang, Stress dependence of the spontaneous stray field signals of ferromagnetic steel, NDT E Int. **42** (4) (2009) 323-327. doi:10.1016/j.ndteint.2008.12.005.

(11) M. Roskosz, A. Rusin, J. Kotowicz, The metal magnetic memory method in the diagnostics of power machinery componen, J. Achievments Mater. Manuf. Eng. **43** (1) (2010) 362-370.

(12) M. Roskosz, M. Witosz, K. Fryczowski, Studies on Magnetic and Mechanical Properties in Plastically Deformed Ferromagnetic Steels, Electromagn. Nondestruct. Eval. **39** (2014) 271-279. doi:10.3233/978-1-61499-407-7-271.

(13) J. Leng, Y. Liu, G. Zhou, Y. Gao, Metal magnetic memory signal response to plastic deformation of low carbon steel, NDT E Int. **55** (2013) 42-46. doi:10.1016/j.ndteint.2013.01.005.

(14) Dubov, S. Kolokolnikov, Technical Diagnostics of Equipment and Constructions with Residual Life Assessment Using the Method of Metal Magnetic Memory, in: 17th WCNDT, Shanghai, China, 2008.

(15) H. Huang, S. Jiang, R. Liu, Z. Liu, Investigation of Magnetic Memory Signals Induced by Dynamic Bending Load in Fatigue Crack Propagation Process of Structural Steel, J. Nondestruct. Eval. **33** (2014) 407-412. doi:10.1007/s10921-014-0235-y.

(16) Dubov, S. Kolokolnikov, Assessment of the Material State of Oil and Gas Pipelines Based on the Metal Magnetic Memory Method, Weld. World 56 (3-4) (2013) 11-19. doi:10.1007/BF03321331.

(17) Dubov, A. Dubov, S. Kolokolnikov, Application of the metal magnetic memory method for detection of defects at the initial stage of their development for prevention of failures of power engineering welded steel structures and steam turbine parts, Weld. World **58** (2) (2013) 225-236. doi:10.1007/s40194-013-0102-y.

(18) M. Roskosz, Metal magnetic memory testing of welded joints of ferritic and austenitic steels, NDT E Int. **44** (2011) 305-310.doi:10.1016/j.ndteint.2011.01.008.

(19) G. Ananthakrishna, Current theoretical approaches to collective behavior of dislocations, Phys. Rep. 440 (4-6) (2007) 113-259. doi:10.1016/j.physrep.2006.10.003.

(20) K. Yao, Z. D. Wang, B. Deng, K. Shen, Experimental Research on Metal Magnetic Memory Method, Exp. Mech. **52** (3) (2011) 305-314. doi:10.1007/s11340-011-9490-3.

(21) Z. Usarek, B. Augustyniak, M. Augustyniak, M. Chmielewski, Influence of Plastic Deformation on Stray Magnetic Field Distribution of Soft Magnetic Steel Sample, IEEE Trans. Magn.**50** (4). doi:10.1109/TMAG.2013.2289329.

(22) H. Li, D. Zhang, S. Tian, Y. Li, Plastic Stress Influences on the Magnetization of Ferromagnetic Steel in Geomagnetic field, Electromagn. Nondestruct. Eval., 2015, pp. 67-75. doi:10.3233/978-1-61499-509-8-67.

(23) S. Bao, D. Zhang, The effect of loading speed on the residual magnetic field of ferromagnetic steels subjected to tensile stress, Insight - Non-Destructive Test. Cond. Monit. **57** (7) (2015) 401-405. doi:10.1784/insi.2015.57.7.401.

(24) N. Sonntag, R. Stegemann, B. Skrotzki, M. Kreutzbruck, Verformungsinduzierte Magnetisierung ferromagnetischer Stähle am Beispiel eines unlegierten Baustahls, in: W. Grellmann, H. Frenz (Eds.), Tagung "Werkstoffprüfung", Deutscher Verband für Materialforschung und -prüfung (DVM), 2014

(25) Z. Usarek, B. Augustyniak, M. Augustyniak, Separation of the Effects of Notch and Macroresidual Stress on the MFL Signal Characteristics, IEEE Trans. Magn. **50** (11). doi:10.1109/TMAG.2014.2323434.

(26) M. Kuroda, S. Yamanaka, K. Yamada, Y. Isobe, Evaluation of residual stresses and plastic deformations for iron-based materials by leakage magnetic flux sensors, J. Alloys Compd. 314 (2001) 232_239. doi:10.1016/S0925-8388(00)01226-3.

(27) D. C. Jiles, The effect of compressive plastic deformation on the magnetic properties of AISI 4130 steels with various microstructures, J. Phys. D. Appl. Phys. **21** (7) (1988) 1196-1204. doi:10.1088/0022-3727/21/7/023.

(28) S. Thompson, B. Tanner, The magnetic properties of plastically deformed steels, J. Magn. Magn. Mater. **83** (1-3) (1990) 221-222. doi:10.1016/0304-8853(90)90493-A.

(29) S. Thompson, B. Tanner, The magnetic properties of specially prepared pearlitic steels of varying carbon content as a function of plastic deformation, J. Magn. Magn. Mater. **132** (1-3) (1994) 71-88. doi:10.1016/0304-8853(94)90302-6.

(30) T. Chady, Evaluation of stress loaded steel samples using GMR magnetic field sensor, IEEE Sens. J. 2 (5) (2002) 488-493. doi:10.1109/JSEN.2002.804574.

(31) E. S. Gorkunov, Different remanence states and their resistance to external effects. Discussing the "method of magnetic memory", Russ. J. Nondestruct. Test. **50** (11) (2014) 617-633. doi:10.1134/S1061830914110047.

(32) H. Neuber, Theory of Stress Concentration for Shear-Strained Prismatical Bodies With Arbitrary Nonlinear Stress-Strain Law, J. Appl. Mech. **28** (4) (1961) 544. doi:10.1115/1.3641780.

(33) J. Leng, M. Xu, G. Zhou, Z. Wu, Effect of initial remanent states on the variation of magnetic memory signals, NDT E Int. 52 (2012) 23-27. doi:10.1016/j.ndteint.2012.08.009.

(34) K. Yao, K. Shen, Z.-D. Wang, Y.-S. Wang, Three-dimensional finite element analysis of residual magnetic weld for ferromagnets under early damage, J. Magn. Magn. Mater. **354** (2014) 112-118. doi:10.1016/j.jmmm.2013.10.047.

(35) Hubert, R. Schäfer, Magnetic Domains, Springer Berlin Heidelberg, 1998
(36) R. Becker, Elastische Spannungen und magnetische Eigenschaften, *Phys.Zeitschrift***33** (23) (1932) 905–913.
(37) M. Kersten, Zur magnetischen Analyse der inneren Spannungen, *Zeitschrift für Phys.***76** (7-8) (1932) 505–512.
(38) M. Kersten, Zur magnetischen Analyse der inneren Spannungen. II, *Zeitschrift für Phys.***82** (11-12) (1933) 723–728.
(39) R. Becker, Zur Theorie der Magnetisierungskurve, *Zeitschrift für Phys.***62** (3-4) (1930) 253–269.
(40) R. Becker, M. Kersten, Die Magnetisierung von Nickeldraht unter starkem Zug, *Zeitschrift für Phys*. **64** (9) (1930) 660–681.
(41) J. Joule, XVII. On the effects of magnetism upon the dimensions of iron and steel bars, *Philos.Mag.Ser.3***30** (199) (1847) 76–87.
(42) E. Villari, Ueber die Aenderungen des magnetischen Moments, welche der Zug und das Hindurchleiten eines galvanischen Stroms in einem Stabe von Stahl oder Eisen hervorbringen, *Ann. der Phys. und Chemie***202** (9) (1865) 87–122. doi:10.1002/andp.18652020906.
(43) S. Bao, X. Liu, D. Zhang, Variation of Residual Magnetic Field of Defective U75V Steel Subjected to Tensile Stress, *Strain***51** (5) (2015) 370–378.
(44) C. Shi, S. Dong, B. Xu, P. He, Metal magnetic memory effect caused by static tension load in a case-hardened steel, *J. Magn.Magn.Mater*. **322** (4) (2010) 413–416. doi:10.1016/j.jmmm.2009.09.066
(45) J.M.D. Coey, Magnetism and Magnetic Materials, Cambridge University Press, Cambridge, 2010
(46) R. Stegemann, S. Cabeza, V. Lyamkin, G. Bruno, A. Pittner, R. Wimpory, M. Boin, M. Kreutzbruck, Residual stress characterization of steel TIG welds by neutron diffraction and by residual magnetic stray field mappings, J. Magn Magn Mater **426**, (2017) 580–587 http://dx.doi.org/10.1016/j.jmmm.2016.11.102
(47) Dubov A. A., Dubov Al. A., Kolokolnikov S.M.: Method of metal magnetic memory (MMM) and inspection instruments. Training handbook., International Institute of Welding, IIW Document No: V-1347-06, Moscow 2006
(48) S. Thompson, P. Allen, B. Tanner, Magnetic properties of welds in high-strength pearlitic steels, IEEE Trans. Magn. **26** (1990) 1984–1986. http://dx.doi.org/10.1109/20.104591 URL: ⟨http://ieeexplore.ieee.org/document/104591/⟩.
(49) S. Thompson, B. Tanner, The magnetic properties of specially prepared pearlitic steels of varying carbon content as a function of plastic deformation, J. Magn. Magn. Mater. **132** (1994) 71–88. http://dx.doi.org/10.1016/0304-8853(94)90302-6.
(50) A. Dubov. Diagnostics of boiler tubes using the metal magnetic memory. Moscow: Energoatomizdat, 1995. 112 p.
(51) V. Vlasov, A. Dubov. Physical bases of the metal magnetic memory method. Moscow: ZAO “Tisso”, 2004. 389 p.
(52) V. Vlasov, A. Dubov. Physical theory of the “strain-failure” process. Part I. Physical criteria of metals limiting states. Moscow: Publishing House “Spektr”, 2013. 488 p.
(53) V. Vlasov, A. Dubov. Physical theory of the “strain-failure” process. Part II. Process thermodynamics. Moscow: Publishing House “Spektr”, 2016. 228 p.
(54) A. Dubov. Diagnostics of turbine equipment using the metal magnetic memory. Moscow: ZAO “Tisso”, 2009. 148 p.
(55) A. Dubov, The problems of residual stress testing in welded joints and their solution using the MMM method. IIW Document No.V-1405-08.
(56) A. Dubov, S. Kolokolnikov, The metal magnetic memory method application for online monitoring of damage development in steel pipes and welded joints specimens. Doc. IIW-2168. Welding in the World, Volume 57 (2013), Issue 1, pp. 123-136.
(57) M. Augustyniak, Z. Usarek, Discussion of Derivability of Local Residual Stress Level from Magnetic Stray Field Measurement, J. Nondestruct Eval **34** (21) (2015) 1-9 DOI: 10.1007/s10921-015-0292-x