

Mágneses Barkhausen zaj vizsgálata

1. A mérés célja:

- a hallgatók ismereteinek elmélyítése az anyagok mágneses tulajdonságaival kapcsolatban
- megismertetni a hallgatókat a Barkhausen effektus mérés technikai felhasználásának lehetőségeivel

2. A cél elérése érdekében:

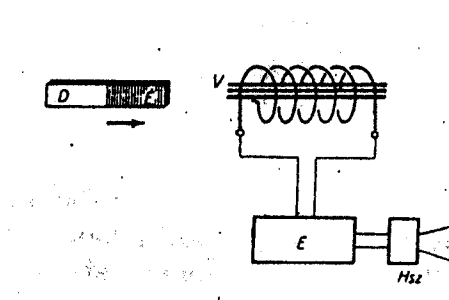
- összefoglaljuk a Barkhausen zajjal kapcsolatos ismereteket
- vizsgáljuk a mágneses Barkhausen zaj függését az anyagszerkezettől, illetve mechanikai feszültségtől

A vizsgálatokat STRESSTEST STUDENT készülékkel végezzük

3. Bevezetés:

A mágneses Barkhausen-zaj ferromágneses anyagok mágnesezettségének változásakor fellépő jelenség, amely az alábbi egyszerű kísérlettel mutatható be.

Vasrudat (V) körülvevő sokmenetű indukciós tekercs kivezetéseit erősítőn (E) keresztül hangszóróra (Hsz) csatlakoztatjuk (3.1. ábra)



3.1. ábra

A mágneses Barkhausen zaj bemutatására szolgáló kísérlet vázlata

Ha a vasmagra változó mágneses tér hat, a hangszóróból sustorgó hangot hallunk, ez a mágneses Barkhausen zaj (A továbbiakban MBN)

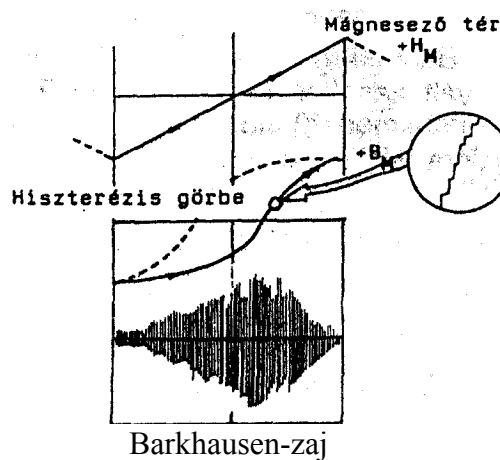
A MBN függ a mágneses tértől, a vasmag anyagának mikrostruktúrájától és az anyagban lévő mechanikai feszültségtől.

A fenti kísérletnél a mágneses tér változását állandó mágnes mozgatásával érhetjük el. Mérés technikai alkalmazásoknál váltóáramú gerjesztést alkalmazunk.

4. A mágneses Barkhausen zaj keletkezése

Ha egy ferromágneses anyag mágnesezettségét külső mágneses térrel változtatjuk, akkor a mágneses tér változása során az anyagban a mágneseződés nem folyamatosan, hanem sok apró diszkrét ugrással - Barkhausen ugrások - megy végbe. Az egyes ugrások amplitúdóját, sűrűségét, a mágnesező tér értékétől való függését - és ezzel a Barkhausen zaj spektrumát - a kérdéses anyag mikrostruktúrája és az anyagban lévő mechanikai feszültség határozza meg.

A 4.1. ábra ferromágneses anyag mágneses hiszterézis görbéjének felvételénél mutatja a Barkhausen ugrások és a MBN alakulását



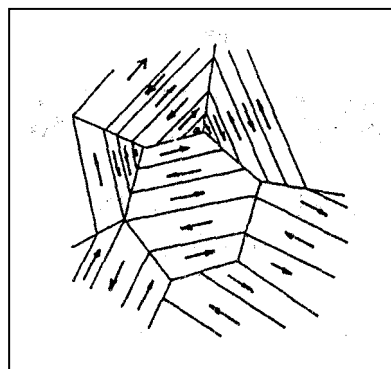
4.1. ábra

Barkhausen ugrások a mágneses hiszterézis görbén. MBN alakulása mágnesezés közben.

A ferromágneses anyag mágneses tulajdonságait alapvetően meghatározza az, hogy ezek az anyagok azonos orientációjú mágneses dipólusokat tartalmazó u.n. mágneses doménekből épülnek fel. (4.2. ábra)

4.2. ábra

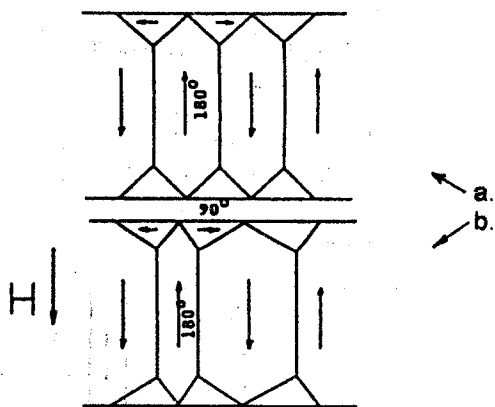
Ferromágneses anyag doménszerkezete



Minden egyes domén telítettségig mágnesezett, de különböző irányítottágú és, ezért az eredő teljes mágnesezettség gyakorlatilag nulla.

A doméneket átmeneti rétegek, kb. 0,1 μ m vastagságú doménfalak választják el egymástól. Az egyes domének u.n. könnyű mágnesezettségi iránya egymáshoz viszonyítva 90° és 180° -os lehet. (4.3/a. ábra)

Ha egy ilyen anyagot változó értékű - például növekvő - mágneses térbe helyezünk, akkor azok a domének, amelyeknek irányítottsága megegyezik a külső mágneses tér irányával, először növekedésnek indulnak az ellentétes irányítottságúak rovására (4.3/b. ábra) majd egy meghatározott külső térnél az ellentétes irányítottságú domének egymás után, egyenként vagy csoportosan - más és más mágneses térértéknél - befordulnak a külső tér irányába.



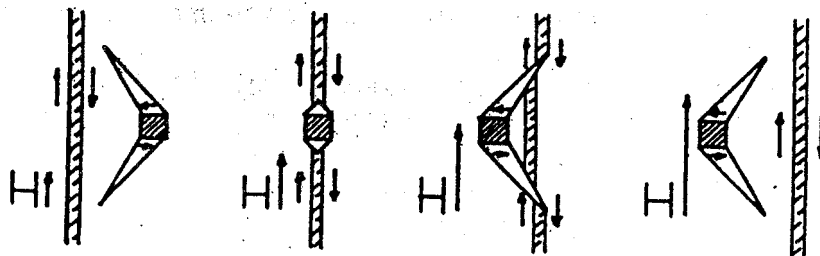
4.3.

- a./Mágneses domének az anyagban
b./Növekvő mágneses tér hatása a doménekre

Az ugrásszerű domén-átfordulások egy külső mérőtekercsben elektromos feszültségváltozásokat indukálnak. Ezeket az időben és amplitúdóban véletlenszerűen változó elektromos jeleket nevezik mágneses Barkhausen zajnak. A domének mérete és alakja függ a kémiai összetételtől, textúrától, szemcsemérettől és a szennyezésektől. A domének mérete általában azonos vagy kisebb, mint a szemcseméret. Szemcsehatárokon, inhomogenitásoknál a domének irányítottsága eltér a 90° és 180° - tól.

A Barkhausen ugrásoknak alapvetően két oka lehet:

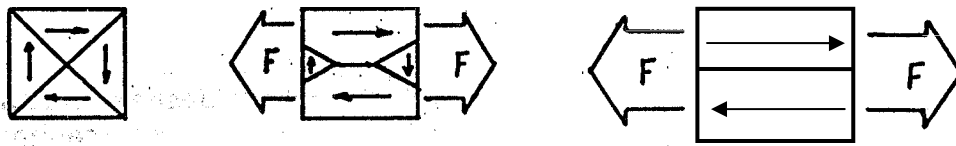
az anyag ideális szerkezettől való eltérése és vagy mechanikai feszültség. Az első esetben szemcsehatárok, zárványok kötik meg a doménfalat, amely növekvő térerősség hatására ezekről mintegy lepattan. (4.4. ábra)



4.4. ábra

Doménfal mozgása növekvő mágneses tér hatására zárvány jelenlétében

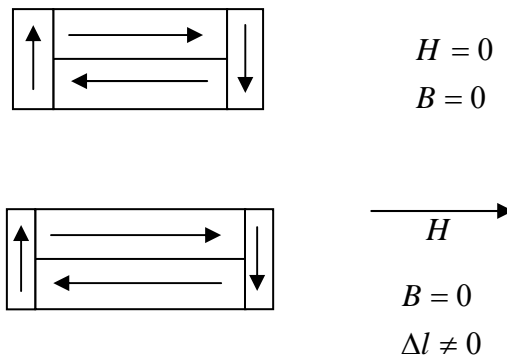
A második esetben a mechanikai feszültség hatására megváltozik a doménszerkezet (4.5. ábra)



4.5. ábra

Doménszerkezet változása növekvő mechanikai feszültség hatására

A legtöbb ferromágneses anyag mágnesezésekor méretváltozás is fellép, ez a magnetostrikció (4.6. ábra)



4.6. ábra

Mágneses tér növekedése által létrehozott méretnövekedés: pozitív magnetostrikció

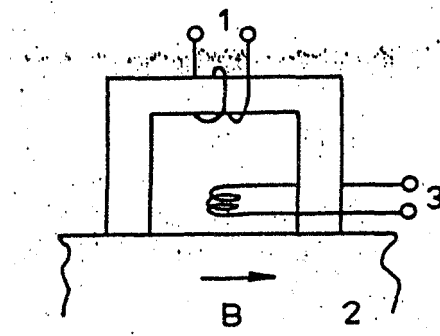
Ez hoz létre kapcsolatot a mechanikai feszültség-tér és a mágneses tér között. Az anyagra ható mechanikai feszültség segíti, vagy gátolja a mágnesezésekor fellépő méretváltozást, és ezzel növeli vagy csökkenti a Barkhausen ugrások számát. Így válik mérhetővé a mechanikai feszültség a magnetostrikciót mutató anyagokban.

Mágneses Barkhausen zaj nem csak mágnesezésekor keletkezik, hanem a mechanikai feszültség változásakor is: ilyenkor a feszültségváltozás doménmozgást - Barkhausen ugrásokat - eredményez.

A mágnesesen vagy mechanikusan mozgásra készített domének mechanikai zajokat, úgynevezett akusztikus Barkhausen zajt is keltenek.

Míg a mágnesesen detektált Barkhausen zaj (MBN) a 180° - os doménfalak mozgásából származik, addig az akusztikusan detektált (ABN) a 90° - os falaktól.

A továbbiakban a lehetséges négy effektus közül csak a mágnesesen gerjesztett és a mágnesesen detektált Barkhausen zajjal - a MBN-el - foglalkozunk. Ennek a zajnak a vizsgálata a 4.7. ábrán vázolt elrendezés (továbbiakban mérőfej) segítségével történhet.



4.7. ábra
Mérőfej vázlatja

Az 1 gerjesztő tekercs által keltett változó mágnessé térbe helyezett 2 mintában a mágnesség ugrásszerű változása a 3 detektor tekercsben feszültséget indukál.

5. Mechanikai feszültség vizsgálata Barkhausen-zaj mérésével:

Mechanikai feszültséget Barkhausen-zajjal azokban a ferromágneses anyagokban lehet mérni, amelyek magnetostrikciót mutatnak. A vizsgált anyagban, annak is a megfigyelt térfogatában lehetnek sajátfeszültségek, melyek például gyártásból maradtak vissza és hathat rá külső mechanikai feszültség. Ezek eredőjeként beszélünk a továbbiakban általában feszültségről.

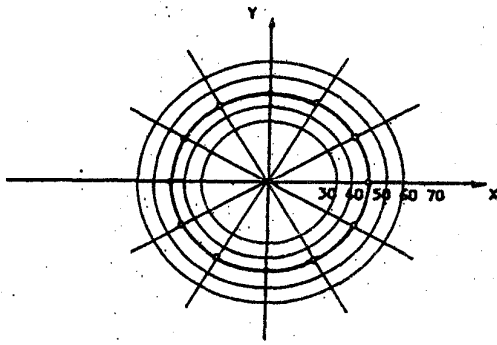
A mérhetőség felveti a következő kérdéseket:

létezik-e egyértelmű összefüggés a zaj és a feszültség között, és milyen feszültség-tartományon belül,
ez az összefüggés, az úgynevezett kalibrációs görbe hogyan függ az anyagtól, és mennyire függ a mérési körülményektől.

Vegyünk gondolatban egy lemezt, melyben nincs anizotrópia, mágneses (domén) szerkezete így véletlenszerű eloszlást mutat a síkban. A mérőfej irányított gerjesztő tere határozza meg a vizsgálati irányt. Körbe forgatva a mérőfejet egy pontban meghatározhatjuk a MBN irány szerinti eloszlását, amit feszültségmentes anyagban az 5.1. ábra mutat (vastag görbe).

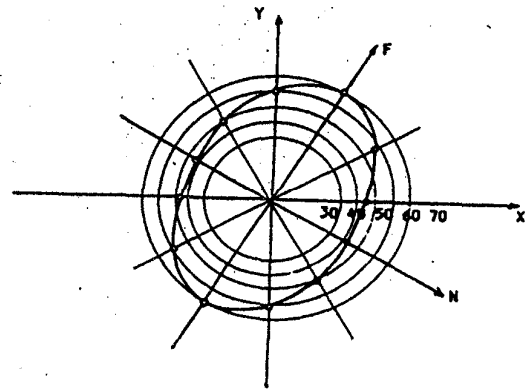
Ha ezt a lemezt meghúzzuk, akkor a fellépő kvázi egytengelyű feszültség (igen széles lemez) hatására az (effektus szögeloszlásában az) 5.2. ábra szerinti változások lépnek fel. Ha a feszültség iránya és a vizsgálati irány egybeesik, növekvő húzásra (pozitív magnetostrikciós anyagoknál, így acéloknál is) nő a zaj. Ha nyomást keltenénk a zaj csökkenését tapasztalnánk.

(Hajlítással elérhetjük a húzott - nyomott állapotot, ez az egytengelyű feszültségállapotban történő kalibrálásra használt szokásos eljárás.)



5.1. ábra

Homogén és izotróp lemez bármely (F) pontjában és bármely irányban azonos a zaj



5.2. ábra

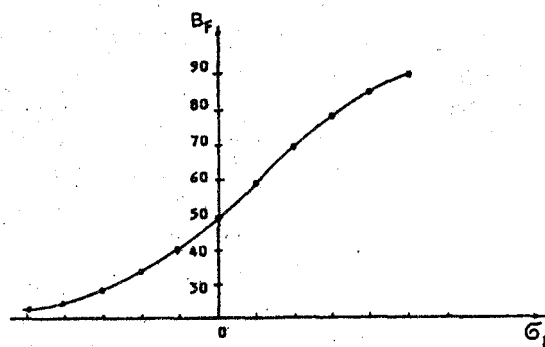
Húzás hatására a húzás irányában megnő a zaj, rá merőlegesen kisebb mértékben csökken

Az F irányú feszültség (σ_F) változtatásával felvehetjük a zaj (B_F) feszültség kalibrációs görbét (5.3. ábra)

Mint az 5.2. ábrán látható, a húzási irány a fej körbeforgatásával egyértelműen kijelölhető. Látható azonban az is, hogy erre merőleges irányban a zaj csökken. Ez a keresztteffektus. Az N irányú feszültség hiába nulla, F irányú húzás esetén csökken az N irányban mérhető zaj, nyomás esetén nő. Ha N irányban is hat feszültség, az hasonlóképpen vissza fog hatni az F irányban mérhető zajra is. Kéttengelyű feszültségállapotban tehát nem kerülhető meg a keresztteffektus vizsgálata

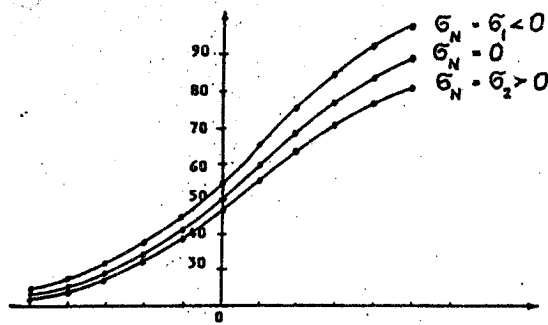
Ha a mérés során N irányú feszültség is van, akkor az 5.3. ábrán felvett kalibrációs görbe (amelynél az N irányú feszültség nulla volt) módosul és különböző nagyságú N irányú feszültségeknél egymáshoz képest eltolódásokat kapunk. Az eltolás iránya az N irányú feszültség előjelétől függ (5.4. ábra) Ez az u.n. kalibrációs görbesereg pl. kereszt alakú próbatestenen határozható meg. Homogén és izotróp mintán az N és F irányok felcserélhetők: a $B_F(\sigma_F; \sigma_N)$ és

$B_N(\sigma_N; \sigma_F)$ görbeseregek azonosak.



5.3. ábra

Az 5.2. ábra szerinti F irányú vizsgálatnál a zaj-feszültség függése u.n. egytengelyű feszültség állapotú kalibráció

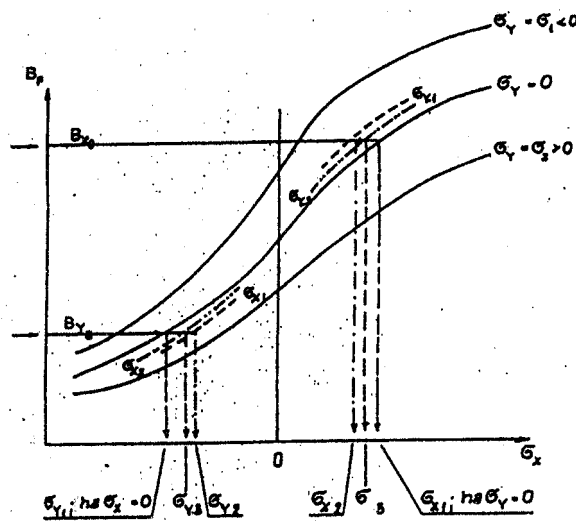


5.4. ábra

Kalibrációs görbesereg kéttengelyű feszültség állapotban

A kalibrációs görbesereg felhasználásával x_0 és y_0 gerjesztési irányok mellett mért MBN segítségével a fenti irányokba fellépő feszültség iterációval határozható meg.

Az 5.5. ábrán látható módon keresztirányú feszültség nulla feltételezés mellett meghatározzuk σ_{x1} és σ_{y1} értékeket. Ezeket figyelembe véve mint keresztfeszültségeket határozzuk meg σ_{x2} és σ_{y2} - t s.i.t.



5.5. ábra

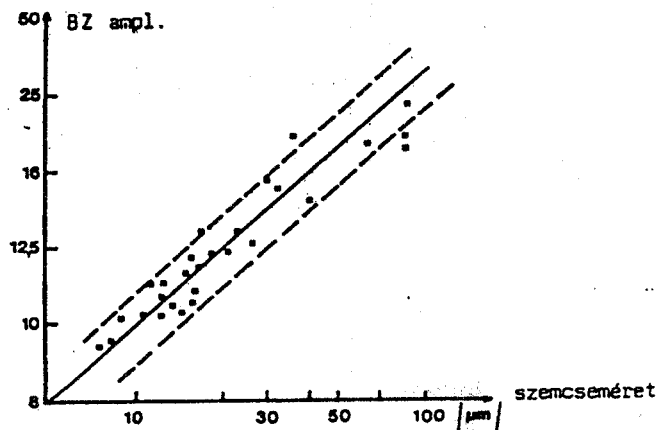
Iterációs közelítés kalibrációs görbeseregen

6. Anyagszerkezet-vizsgálat Barkhausen zajjal

Mint említettük a Barkhausen zaj keletkezésének oka az anyag ideális szerkezettől való eltérése. Ezért a zaj nagyságából, még inkább bizonyos tulajdonságaiból az anyag szerkezetére vonatkozó következtetéseket lehet levonni. A Barkhausen-zaj frekvencia eloszlása, illetve az ugrások amplitúdó eloszlása és az átlagos szemcseméret között korreláció van.

A 6.1. ábrán alacsony széntartalmú ferrites acélok metallográfiai módszerrel meghatározott szemcsemérete és Barkhausen zaj amplitúdója közti összefüggés látható. A mérési eljárás kiválások jelzésére is használható. A kiválásokhoz hasonlóan a széntartalom mennyisége és előfordulási formája is befolyásolja a

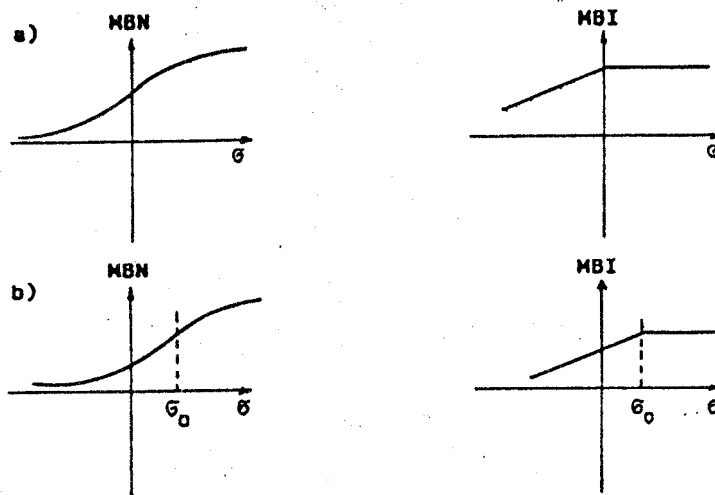
mérhető jelet, ez lehetőséget ad öntvényeknél a lemezgrafitos és gömbgrafitos módosulatok megkülönböztetésére.



6.1. ábra

MBN alakulása a szemcseméret változás hatására

Amíg a mechanikai feszültség a rugalmassági határokon belül marad, addig a Barkhausen zaj és a feszültség között egyértelmű az összefüggés. A függvénykapcsolat más és más, ha a zaj átlagértékét, vagy impulzusszámát (MBI) mérjük (6.2. ábra)

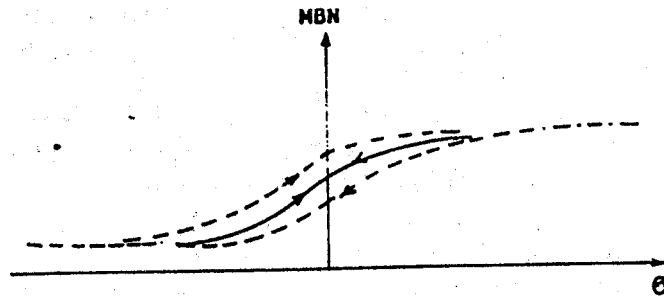


6.2. ábra

Barkhausen-zaj feszültségfüggése (a)
Maradófeszültség kimutatása (b)

Ezekon a kalibrációs görbéken a nullfeszültségű állapot egyértelműen meghatározható, ha az anyagban véletlenszerű domén-eloszlást és nulla mágnesezettséget feltételezünk izotróp mágneses tulajdonságok mellett. Olyan anyagokban melyek rugalmassági határa nagy, a mérhetőséget a műszer érzékenysége és a mért zaj-paraméter görbéje szabja meg. A leginkább használatos átlagérték - mérésnél például ez a tartomány anyagoktól függően □ 200 - 400 MPa.

A rugalmassági határnál nagyobb feszültségek esetén a zajfeszültség görbe hiszterézisét tapasztaljuk (6.3. ábra)



6.3. ábra

A Barkhausen-zaj feszültségfüggése rugalmas (-) és képlékeny tartományban (- -)

A kalibrációs görbék anyagfüggőek és ugyanazon anyag különböző hőkezeltési állapotaiban is eltérnek.

7. A mérőberendezés és használata

A mérőberendezés használatához szükséges tudnivalók.

A készülék ismertetésétől az alkalmazással kapcsolatos tudnivalókig részletes leírás található a "Gépkönyv"-ben, amely a mérőhelyen megtalálható.

A mérési feladatok elvégzését, valamint a mérési adatok feldolgozását számítógép segíti.

A számítógép bekapcsolása után az alábbi menü jelenik meg a képernyőn:

- F1 A készülék üzembehelyezése
- F2 Barkhausen zaj keltése átmagnesezéssel
- F3 Barkhausen zaj keltése mechanikai feszültséggel
- F4 Barkhausen zaj a gerjesztő mágneses tér függvényében
- F5 Barkhausen zaj a mechanikai feszültség függvényében
- F6 Hajlított tartó vizsgálata
- F7 Barkhausen zaj a CH1 és CH2 értékeinek függvényében
- F8 About Stresstest Student 1.0
- F9 Mentés

A kiválasztott feladat elvégzéséhez szükséges információk, utasítások, a megfelelő funkciógomb lenyomása után megjelennek a képernyőn.

Azoknál a feladatoknál ahol erre szükség van a képernyőn megtalálhatók a mérési eredmények rendszerezését szolgáló táblázatok is. A mérési eredmények is ezen táblázatok aktuális rovataiban jelennek meg.

Az egyes táblázatok adatait a számítógép grafikusán is megjeleníti.

A mérőberendezés segítségével a MBN függését a mechanikai feszültségtől különbözően kialakított és eltérő módon terhelt tartók alkalmazásával vizsgálhatjuk. Az ilyen típusú vizsgálatok elvégzésekor minden esetben a terhelés helyén mért lehajlás nagyságának ismeretéből kell meghatároznunk a mérőfej helyén keletkező mechanikai feszültséget.

A vázolt probléma megoldását az egyik végén befogott és a másik végén terhelt tartó segítségével mutatjuk be, a mechanikában tanultak felelevenítésével.

Természetesen az alább ismertetettek értelemszerűen alkalmazhatók más tartók különféle terhelése esetén is.

A továbbiakban tehát a tartó vég lehajlása és a tartóban kialakuló mechanikai feszültség közötti kapcsolatot keressük.

A vizsgált tartót, valamint az alkalmazott koordinátarendszert a 7.1. ábra mutatja (A z és az x tengely a semleges szál síkjában helyezkedik el)

A továbbiakban az alábbi jelöléseket használjuk

- mechanikai feszültség
- I_x másodrendű nyomaték az x tengelyre négyszög keresztmetszet esetén (7.1. ábra)

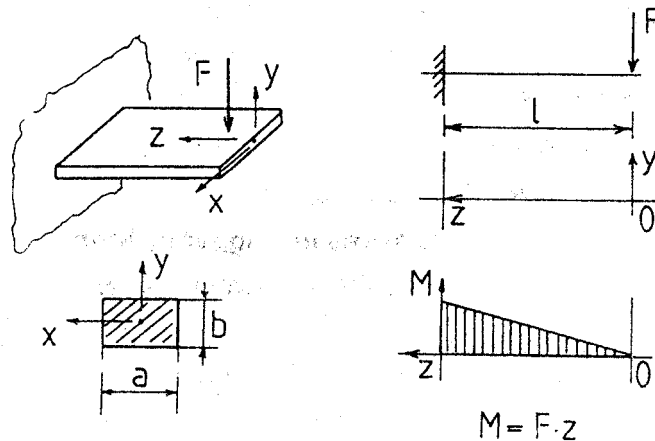
$$I_x = \frac{ab^3}{12}$$

- $M(z)$ hajlítónyomaték függvény
- $\varphi(z)$ elfordulási függvény
- $v(z)$ lehajlási függvény (semleges szál egyenlete)
- E rugalmassági modulus, esetünkben $E=214,77 \cdot 10^9$ Pa.

A fenti mennyiségek között az alábbi kapcsolatok vannak

$$\sigma = \frac{M}{I} y \quad (7.1.)$$

A tisztán hajlítással igénybevett tartót a felvett koordinátarendszerrel és a nyomatéki ábrával a 7.2. ábra mutatja.



7.1. és 7.2. ábra

$$\varphi(z) = \int \frac{M}{EI_x} dz \quad (7.2.)$$

$$v(z) = -\int \varphi(z) dz \quad (7.3.)$$

A 7.2. egyenlet segítségével először a nyomatéki egyenlet ismeretében meghatározzuk a $\varphi(z)$ kapcsolatot:

$$\varphi(z) = \int \frac{M}{EI_x} dz = \int \frac{F}{EI_x} z dz$$

Innen az integrálás elvégzése után a határfeltételek figyelembe vételével kapjuk, hogy

$$\varphi(z) = -\frac{F}{EI_x} \left(\frac{l^2}{2} - \frac{z^2}{2} \right)$$

Az elfordulási függvény ismeretében a lehajlás számítható 7.3 alapján.

Az integrálást elvégezve a peremfeltételek figyelembe vételével kapjuk, hogy

$$v = -\frac{F}{EI_x} \left(\frac{l^3}{3} - \frac{l^2}{2} z + \frac{z^3}{6} \right)$$

Ebből a maximális lehajlás, a tartó végén:

$$v_{\max} = \frac{F \cdot l^3}{3EI_x} = \frac{M_{\max} l^2}{3EI_x}$$

Tehát a befogásnál fellépő maximális nyomaték

$$M_{\max} = \frac{3EI_x v_{\max}}{l^2}$$

Tekintettel arra, hogy a nyomaték a tartó mentén lineárisan változik a végétől való távolság függvényében, a végétől z távolságban a nyomaték:

$$M(z) = \frac{3EI_x}{l^2} \cdot \frac{z}{l} \cdot v_{\max} = \frac{3EI_x \cdot z}{l^3} v_{\max}$$

Így (7.1.) felhasználásával az egyes keresztmetszetekben fellépő feszültség:

$$\sigma = \frac{M}{I_x} \cdot y = \frac{3E}{l^3} \cdot z \cdot v_{\max} \cdot y$$

Tekintettel arra, hogy a mágneses Barkhausen zaj a vizsgált minta felületén egy vékony rétegben jön létre:

$$y = \frac{b}{2} \quad \text{és így}$$

$$\sigma_t = \frac{3Eb}{2l^3} \cdot v_{\max} \cdot z$$

A kapott összefüggés felhasználásával meghatározható, hogy a tartó végének adott lehajlása esetén mekkora feszültség ébred a mérőfej helyén az anyag felületén.

8. Mérési feladatok:

1. Ellenőrizze a mérőrendszer összeállítását, majd helyezze üzembe
2. Ismétlje meg a bevezetőben leírt kísérleteket: hozzon létre mágneses Barkhausen zajt átmágnesezéssel.
3. Keltsen MBN-t mechanikai feszültséggel.
4. Vizsgálja a MBN változását a gerjesztő mágneses tér függvényében.
5. Vizsgálja a MBN-t a mechanikai feszültség függvényében. Ezt a vizsgálatot egyik oldalán befogott tartó segítségével végezze el úgy, hogy a tartó egy pontján - ahová a mérőfejet rögzíti - a tartó végének deformálásával különböző feszültségeket hoz létre.
6. Vizsgálja meg a mágneses Barkhausen zaj alakulását az egyik végén befogott és a másik végén terhelt tartó hossza mentén a húzott és a nyomott oldalon. (négy-öt mérőpontot vegyen fel a tartó hossza mentén)
7. Vizsgálja meg mérési eredményei reprodukálhatóságát a mérések ismétlésével.
8. Méréseiről készítsen jegyzőkönyvet, mérési eredményeit dolgozza fel (készítsen táblázatokat és grafikonokat) és értékelje azokat.

A mérési leírás a Stresstest Student készülék gépkönyveinek felhasználásával készült.