

ELŐADÁSOK PROCEEDINGS

**XXV. HŐKEZELŐ ÉS ANYAGTUDOMÁNY A
GÉPGYÁRTÁSBAN
ORSZÁGOS KONFERENCIA ÉS SZAKKIÁLLÍTÁS
KÜLFÖLDI RÉSZTVEVŐKKEL**

**BALATONFÜRED
HOTEL BLAHA LUJZA
2012. október 03-04-05.**



**25TH HEAT TREATMENT AND MATERIALS SCIENCE FOR
MECHANICAL ENGINEERING
NATIONAL CONFERENCE AND EXHIBITION
WITH FOREIGN PARTICIPANTS
BALATONFÜRED, HUNGARY
HOTEL BLAHA LUJZA
03-04-05 October 2012**

Maradó feszültség meghatározásának innovatív eszköze a Lisa laboratóriumban

Mertinger Valéria, Cseh Dávid, Benke Márton, Zirigh Norbert*

Bevezetés

A maradó feszültség jelensége eléggé ellentmondásos a fémipari gyakorlatban. A maradó feszültséggel kapcsolatosan a leggyakrabban elhangzó kérdések, melyek összefoglalják annak főbb jelentőségét, a következők:

- ⊕ Eredete?
- ⊕ Jelenléte káros-e?
- ⊕ Végezzünk-e feszültségcsökkentő technológiai műveletet?
- ⊕ Lehet-e előnyös?
- ⊕ Végezzünk-e direkt maradó feszültség létrehozására irányuló technológiai műveletet?
- ⊕ Mekkora az értéke, milyen az iránya és előjele?

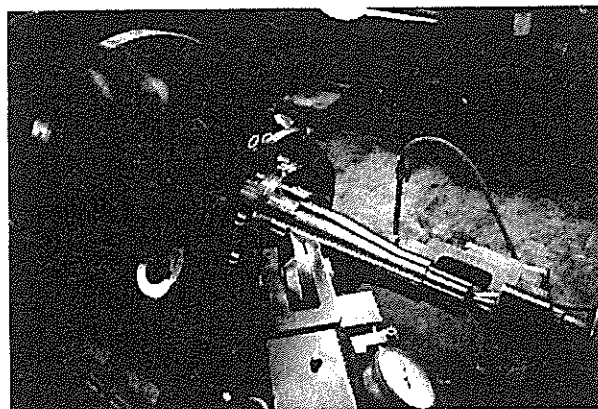
Eredete? Minden olyan folyamat mely hőhatással, hőmérséklet gradiens kialakulásával, és vagy mechanikai deformációval, fajtérfogat változással jár maradó feszültséget eredményez, ami rugalmasan torzítja a fémrácsot. A leggyakoribb ilyen folyamatok a hőkezelés, hegesztés, képlékenyalakítás, forgácsolás, fázisátalakulás [1].

Jelenléte káros-e? Egy bizonyos technológia kísérő jelenségeként kialakuló maradó feszültség jellemzően káros. A kár mértéke és oka jellemzően a maradó feszültségállapottal kapcsolatos tudatlanság. Általában nem ismert annak eloszlása, nagysága és iránya. Amennyiben az egyensúlyban lévő ismeretlen feszültségállapotba beavatkoznak könnyen előfordulhat, hogy a felbontott egyensúlynak köszönhetően helyi maximumok alakulnak ki melyek a folyáshatárt meghaladva a darabot eldeformálják, selejtesse teszik.

Végezzünk-e feszültség csökkentő technológiai műveletet? Számos esetben a feszültségcsökkentő izzítás alkalmazása elkerülhetetlen. Az ipari gyakorlat jól bevált receprúrákat alkalmaz az izzítás mikéntjére (hőmérséklet, sebesség, méret faktor) vonatkozóan. Egy rosszul elvégzett feszültségcsökkentő izzítás szintén okozhat nem kívánt mértékű maradó feszültséget.

Lehet-e előnyös? Végezzünk-e direkt maradó feszültség létrehozására irányuló technológiai műveletet?

Igen. Ha az igénybevétel ellenkező előjelű, vagy a tönkremenetelt a maradó feszültség késlelteti, abban az esetben ez az állapot előnyös. Tipikus fásasztó igénybevételnek kitett alkatrészek esetén a repedés terjedés megakadályozására maradó nyomó feszültségállapot létrehozása a cél. Az ilyen technológiai műveleteket felülettömörítő eljárásnak hívjuk. Leggyakoribb módja a szemcseszórás, sörétezés, mángorlás, görgőzés, vasalás, de a betétedzés is ilyen állapotot eredményez. Az első három technológia jellemzően a darabok teljes felületét, míg a görgőzés kitüntetett részek kezelését biztosítja. Görgőzésre mutat ipari gyakorlati példát az 1. ábra.



1. ábra Görgőzés ipari gyakorlatban

Mekkora az értéke, milyen az iránya és előjele? Bizonyos jellemzően járműipari gépalkatrészeknél a maradó feszültség értéke, beszállítói előírás. Ilyen esetekben a feszültségállapot minél részletesebb jellemzése elengedhetetlen. A mérési módszerek igen sokfélék lehetnek, a leggyakoribbak az Almen teszt, a furat deformációs elven alapuló, az optikai kettős

* Miskolci Egyetem, Fémteni, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet, femvali@uni-miskolc.hu

réleg hatáson alapuló, a mágneses doménszerkezetben bekövetkezett változást mérő, az ultrahangos, a Barkhausen zaj mérési elvén alapuló és a diffrakciós módszerek. Az Almen teszt ipari alkalmazása a legelterjedtebb, mennyiségi jellemzőt használ, de igazából csak kvalitatív jellemzést adja a feszültségállapotnak. Mennyiségi jellemzést csak a diffrakciós módszerek adnak. A neutroindiffrakciós ad a teljes térfogatra kiterjedő képet, de használata a sugárforrás miatt igen korlátozott. Ezzel szemben a röntgendiffrakciós vizsgálati technikák akár üzemi, vagy akár terepi körülmények között is megvalósíthatók.

Maradó feszültség meghatározása röntgendiffrakcióval.

A szilárd testben fellépő maradó feszültségek különböző nagyságrendben fejtik ki hatásukat. Megkülönböztetünk első, másod, ill. harmadrendű feszültségeket. Az első rendű feszültségek a darab jellemző méretével azonos nagyságrendben fejtik ki hatásukat (ún. makroszkopikus feszültségek) a másodrendű feszültségek a szövetszerkezeti elemek nagyságrendjében hatnak (ún. mikroszkopikus feszültségek) az atomi távolságokban munkáló feszültségek az (ún. szub-mikroszkopikus feszültségek). [2,3] A makroszkopikus maradó feszültség a fémes anyagban a fémrács rácspontjaiban elhelyezkedő fém atom törzsek egyensúlyi helyzetből való kitérését eredményezi. Kristálytani megközelítésben ez azt jelenti, hogy változik a darab rácsparamétere. Mivel az anyagban a rugalmas maradó rácsfeszültség hatására a rácssíkok távolsága megváltozik, a rácssík távolságok megváltozásának mérésével visszaszámolható a feszültség. Tehát maradó feszültség meghatározásakor a mérésnél alkalmazott röntgensugárzás hullámhosszának ismeretében (λ) az adott d_{hkl} rácssík távolság változás okozta Bragg szög (θ) eltolódását mérjük.

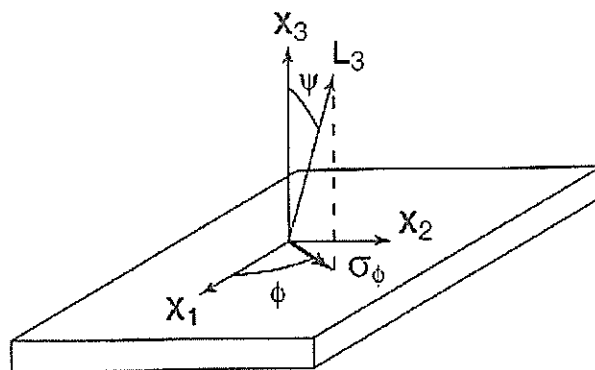
$$n\lambda = 2d_{hkl} \sin \theta \quad (1)$$

A 2. ábra szerint lemez alapanyagon a tetszőlegesen választott σ_ϕ irányú feszültség meghatározásakor abba a problémába ütközünk, hogy nem tudjuk megmérni az ilyen irányú rácstorzulást, mivel a röntgensugárzás csak igen kismértékben hatol be a vizsgálati

anyagba. Ezt az ellentmondást a $\sin^2\psi$ módszer alkalmazásával lehet feloldani.

A módszer lényege, hogy a kiválasztott síksorozat távolságának változását az ábra szerint X_3 illetve azzal ψ szöget bezáró L_3 irányból (d_3, d_ψ) határozzuk meg és ennek valamint a vizsgált anyag rugalmassági modulusa (E) és Poisson száma (ν) ismeretében a keresett irányú feszültség számítható [2-6]:

$$\sigma_\phi = \frac{d_\psi - d_3}{d_3} \frac{E}{(1+\nu) \sin^2 \psi} \quad (2)$$



2. ábra σ_ϕ irányú feszültség meghatározása lemez felületén

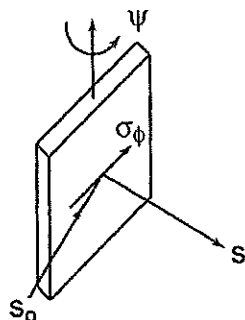
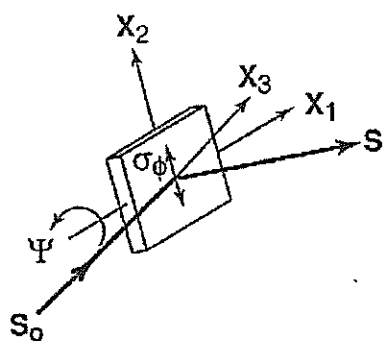
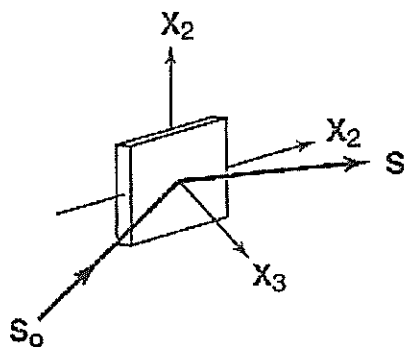
Méréstechnikai oldalról ez azt jelenti, hogy a normál méréstechnika mellett a sugármenet (s_0, s vektorok szimbolizálják) és a minta felülete között ψ döntési helyzetet is meg kell valósítanunk. A döntési pozíció kétféle lehet. Normál, ψ és ω elrendezésre mutat példát a 3. ábra. Méréstechnikai okokból a ψ módszer az elterjedtebb.

Az eddigi leírtak alapján is egyértelmű, hogy a klasszikus pordiffraktométerek nem alkalmasak feszültség mérésére. A gyakorlatban kétféle megoldás terjedt el, vagy a pordiffraktométer rendelkezik a minta döntését megvalósítani tudó mintatartóval (Euler bölcsovel), vagy a diffraktométert magát kell dönten. Miskolci Egyetem, Fémtani, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézetében mindkét megoldást nyújtani tudó eszköz működik.

Szakértői és műszeres háttér a LISA laboratóriumban

A röntgendiffraktométerek asz intézetben lévő Komplex Képelemző és Szerkezetvizsgáló Laboratórium- LISA

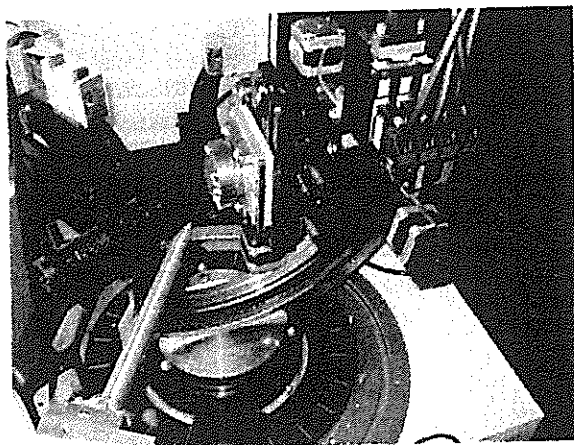
részeként működnek. A LISA labor az országos NEKIFUT regiszterben elnyerte a Stratégiai Kutatási Infrastruktúra (SKI) besorolást [7].



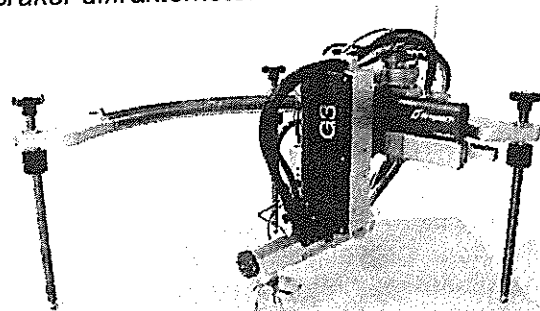
3.ábra A minta és a sugármenet helyzete normál, ψ és ω elrendezésű feszültség méréskor

A röntgenlaboratóriumban 5 munkatárs dolgozik Dr. Mertinger Valéria irányításával. A feszültség mérésre alkalmas berendezések egy Bruker D8 Advance diffraktométer MonoCap optikával és Euler bölcsővel felszerelve (4.ábra) valamint a Stresstech GmbH által gyártott G3R diffraktométer (5.ábra). Az előbbi előnye, hogy klasszikus pordiffrakciós vizsgálatokhoz és textúra mérésre is alkalmas, viszont nagyon súlyos mintageometriai korlátok vannak.

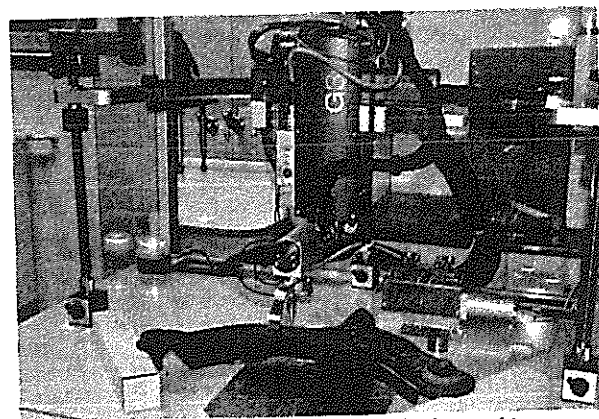
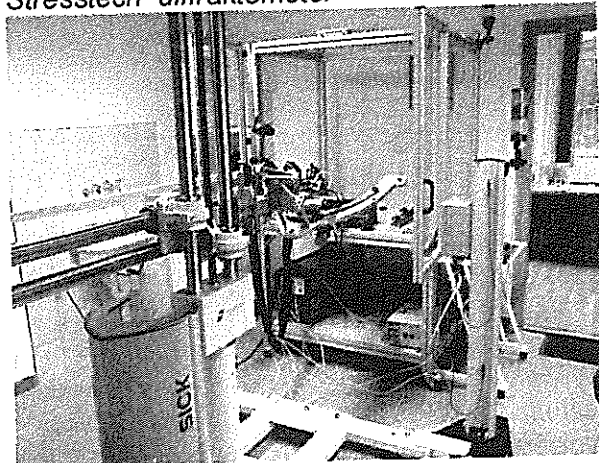
Az utóbbi előnye, hogy gyakorlatilag nincsen minta méret korlát, a diffraktométert tartó robosztus állványnak köszönhetően



4.ábra Feszültség mérésre alkalmas Bruker diffraktométer



5.ábra Feszültség mérésre alkalmas Stresstech diffraktométer



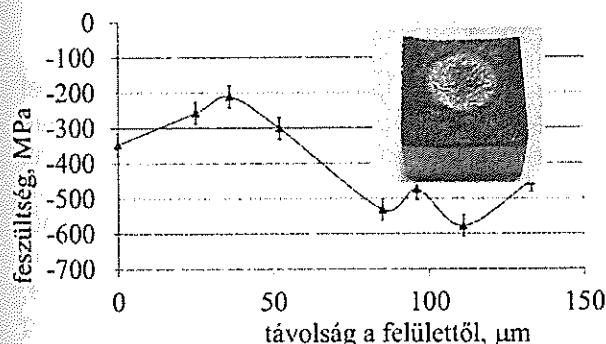
6.ábra Stresstech diffraktométer

roncsolásmentesen vizsgálhatóak egészen nagy gépalkatrészek is a sugárvédelmi kabinon belül vagy akár kívül is, ahogyan a 6. ábra szerinti mérési elrendezés mutatja.

A kabinon kívüli mérések biztonságát fénykapuk biztosítják. A berendezés további előnye, hogy maradék ausztenit mérésére is alkalmas. Mindkét fajta mérési módszer esetén két helyzetérzékeny félvezető detektor rögzíti az adatokat, így nagyon rövid expozíciós időket lehet alkalmazni. A berendezéshez tartozik egy mobil elektropolírozó egység, így a feszültség mélység szerinti eloszlása is felvehető.

Vizsgálati példák és mérési eredmények

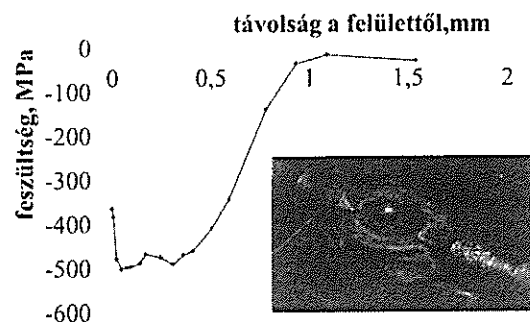
Az első példa szemcseszórás okozta maradó feszültség profil kimérését mutatja nemesített gépalkatrészen. A mintavételezés roncsolásosan történt egy sörétszört merevtengelyből, a vizsgálatot a Bruker diffraktométerrel végeztük réz csővel. Az eredményt és a maradt mintát a 7. ábra mutatja.



7. ábra Mélységi feszültségeloszlás és vizsgálati hely szemcseszórt kovácsolt alkatrészen

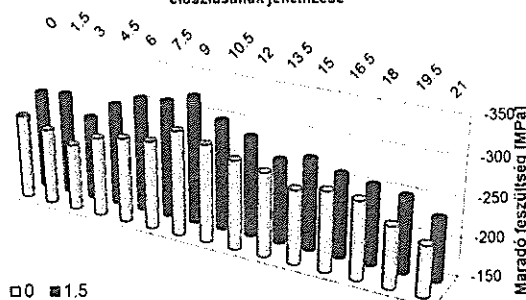
Szintén szemcseszórás utáni mélységi feszültségeloszlást mutat forgácsolt és nemesített kísérleti mintadarab eredménye a 8. ábrán. A görbén a maradó nyomó feszültség maximum elnyújtottan (plató formájában) jelentkezik, a platón pedig lokális minimum található, mely egybe vág az ipari tapasztalatokkal. A vizsgálat Stresstech diffraktométerrel és króm csővel történt.

A 9. ábrán egy szemcseszórt darabban ható maradó feszültség mező jellemzése látható. Ehhez a mintán két egymástól 1,5 mm-re



8. ábra Mélységi feszültségeloszlás és vizsgálati hely szemcseszórt forgácsolt, nemesített alkatrészen

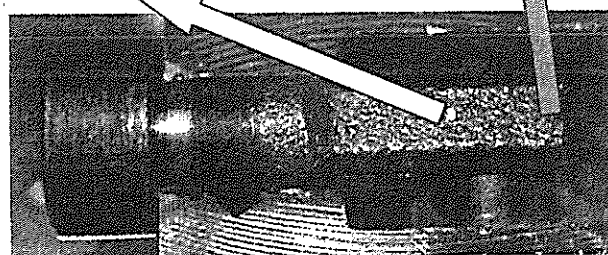
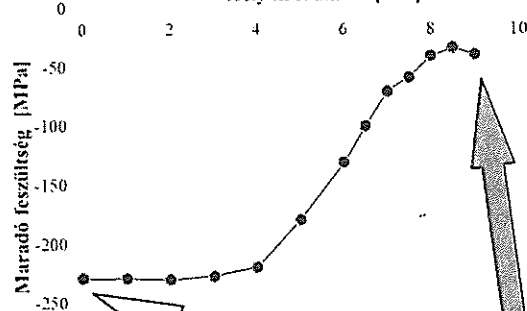
Sörét szórt felületben ható maradó feszültség mező felületi eloszlásának jellemzése



Vizsgált felületi pont hossz irányú helykoordinátája

9. ábra Sörétezett felületen ható maradó feszültség mező felületi eloszlásának jellemzése

Maradó feszültség értékek törött felület környezetében
Hely koordináta [mm]

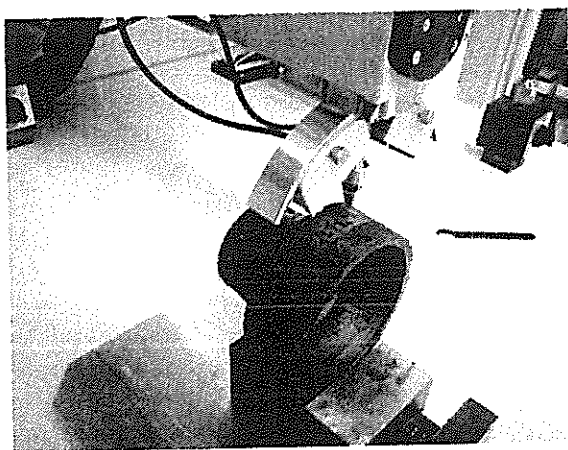


10. ábra maradó feszültség törésig fárasztott darab törétfelületének környezetében.

fekvő 21mm hosszú vonalban 15 db egymástól szintén 1,5 mm re elhelyezkedő pontban végeztünk maradó feszültség mérést.

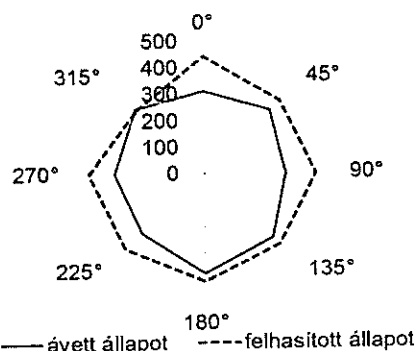
A 10. ábrán egy sörétezett fásasztó próbatest felületi maradó feszültség állapota látható a törés környezetében. A diagramon ábrázolt görbe pontjai a darabon egy egyenes mentén helyezkedtek el. A darabon vizsgált vonal kezdő pontját a fehérrel kitöltött nyíl kezdőpontja, végpontját pedig a szürkével kitöltött nyíl kezdőpontja mutatja. A nyilak az azok kezdőpontjaival jelölt mérési helyekhez tartozó értékekre mutatnak.

A következő példák (11, 12. ábra) csapágy gyűrűk feszültségállapotának vizsgálatáról szólnak. A 11. ábra kovácsolt gyűrűn mutatja azt a példát amikor a ψ módban történő vizsgálat geometriai okok miatt nem lehetséges s a berendezés lehetőségeit ad az ún. Ω módban történő mérésre is. A megmunkált hőkezelt csapágygyűrű palástján tangenciális irányba ható maradó feszültség értékek kerület menti eloszlását mutatja a 12. ábra. A grafikonon folytonos vonallal ábrázolva látható az ép csapágy gyűrű külső palástjában ható maradó feszültség értékek különböző elfordulási szögeknél. Szaggatott vonallal láthatóak a darab külső palástjában ható maradó feszültség értékek, miután a darabot felhasítottuk 150° kerületi szögnek. A felhasított állapotban mért maradó húzó feszültség értékek meghaladják az ép állapotban mérhető maradó feszültség értékeket, amit feltehetőleg a gyűrű belső oldalában ható maradó nyomó feszültségek relaxációja okoz.



11. ábra Kovácsolt gyűrű feszültség mérése (omega mód)

Csapágy gyűrű külső oldalán tangenciális irányban ható maradó feszültség értéke diszkrét kerületi szögeknél átvett és felhasított állapotban

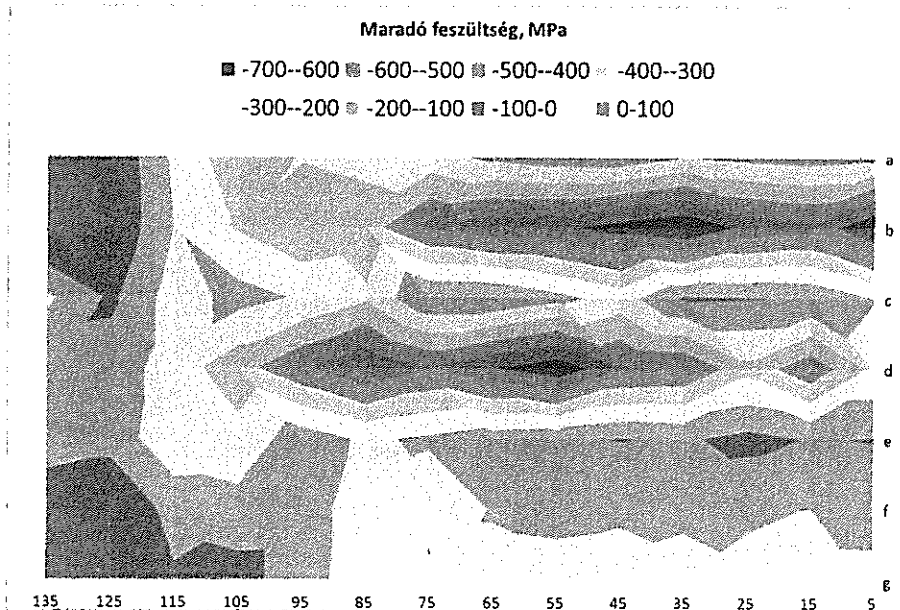
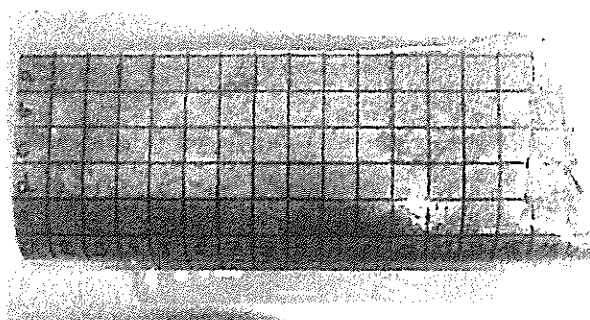


12. ábra Csapágy gyűrű külső palástjában tangenciális irányban ható maradó feszültségek

A következő példában vasúti sín törését követően a futófelületi feszültségállapot meghatározása történt a sín hosszirányú tengelyére merőleges irányban. A mérés a kabinon kívül történt a Stresstech diffraktométerrel és króm csővel. A 13. ábra a mérési elrendezést, a sín felületének hálózását és a mért eredményeket mutatja.

Összefoglalás

Jelen kéziratunkban a maradó feszültséggel kapcsolatos aspektusokról, és annak röntgendiffrakciós mérési elvéről adtunk összefoglalót. Néhány példán keresztül, (a sörétszórás hatása a felület alatt közvetlenül és a felület alatti eloszlásban, kovácsolt hőkezelt csapágy gyűrűk felületi feszültsége, vasúti sín futófelületének feszültség eloszlása) ismertetve adtunk a lehetséges alkalmazási területekről. Mind a labor mind a munkatársak nyitottak új feladatok és problémák megoldására. A G3R diffraktométer egy olyan innovatív eszköz, mely rugalmasan alkalmazkodik nem csak kutatási feladatokra kitenyészett mérési problémákhoz, hanem valós ipari környezetben és geometriai feltételekkel felmerülő problémák megoldásához is. Az eszköz kifejlesztésénél ez elsődleges szempont volt. A mérés ennek megfelelően gyors, biztonságos és megbízható ipari körülmények között is.



13.ábra Sín futófelületének mérése, a fület hálózása és a mérési eredmény

Köszönetnyilvánítás

Jelen kutatást az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében finanszírozott TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 projekt támogatta. A projekt megvalósítását az Európai Unió támogatta és az Európai Szociális Alap társ finanszírozta.

ann Technology, April 2001 Vol17 pp: 355-365

- [5.] Aaron D.Krawitz: Introduction to Diffraction in materials Science and Engineering, John Wiley & Sons , 2001
- [6.] H.Klug, L. Alexander: X ray diffraction procedures, Wiley & Sons , 1974
- [7.] <https://regisztrar.nakifut.hu/ki/szerkezetvizsgalo-laboratorium>

Irodalomjegyzék

- [1.] Handbook of Residual Stress and Deformation of Steel, ASM International 2008, USA pp:347-358
- [2.] Dr Bárczy, Dr Fuchs Erik: Metallográfia I, Tankönyvkiadó, Budapest 1981 pp119-126
- [3.] Sólyom Jenő: Maradó feszültség mérése röntgendiffrakciós módszerrel gépkatrészekben, Tanulmány, Miskolc, 2007, kézirat
- [4.] P.J.Withers, H.Bhadeshia: Residual Stress Part1- Measurement techniques, Mat Sci