



MISKOLCI
E G Y E T E M
UNIVERSITY OF MISKOLC

MŰSZAKI ANYAGTUDOMÁNYI KAR

Fémteni, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet

Maradó feszültség relaxációja fárasztó igénybevétel közben

PhD értekezés

CSEH DÁVID

okleveles anyagmérnök

Tudományos vezető:

Dr. Mertinger Valéria

Kerpely Antal Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola

Doktori iskolavezető

Dr. Gácsi Zoltán

Miskolc

2018

Témavezetői ajánlás

Cseh Dávid

Maradó feszültség relaxációja fárasztó igénybevétel közben

című PhD értekezéséhez

Cseh Dávid doktorjelölt kutató munka iránti érdeklődése már BSc-s hallgató korában megmutatkozott. Már ekkor megfogalmazta, hogy nagy gyakorlati jelentőségű kutatómunkát szeretne végezni. Miskolci tartózkodása alatt oszlopos tagja volt annak a kutatócsoportnak, mely országosan egyedülállóan maradó feszültség vizsgálatra specializálódott. Vezetésem alatt a témához kapcsolódóan több TDK dolgozatot készített. Két alkalommal szerepelt az OTDK-n, ahol egy első és egy második díjat szerzett. Graduális tanulmányainak utolsó évében köztársasági ösztöndíjas volt. Ismereteit több alkalommal bővítette külföldi részképzés illetve szakmai gyakorlat keretein belül. Teljes hallgatói életpályáján tanulmányi kötelezettségeit kiemelkedően teljesítette, melyet az OTDT a Pro Scientia Aranyéremmel is elismert. 2016-2017-ben elnyerte az Új Nemzeti Kiválóság Program doktorjelölti ösztöndíját.

Doktori tanulmányai alatt Mérnök- Közgazdász tanulmányokat is folytatott, mely képzésen abszolutóriumot szerzett. Jellemző rá a közösségi munka. Doktorai tanulmányai alatt két évig elnökként vezette a Miskolci Egyetem Doktorandusz Önkormányzatát. Elnöke volt a Doktoranduszok Országos Szövetsége, Műszaki Tudományok Osztályának. 2017. január 1-től a Doktoranduszok Országos Szövetsége elnökségének tagja.

Eredményeit sikeresen interpretálta a maradó feszültséggel illetve a fárasztó igénybevétellel foglalkozó szakma nemzetközi konferenciáin. Nemzetközi konferencia részvételeire több alkalommal, sikerrel pályázott mobilitási ösztöndíjra. A jelölt PhD disszertációjának témájában hat első szerzős angol nyelvű publikációt jegyez. A jelölt 2018. április 4.-től a Hauni Hungária Gépgyártó Kft támogató mérnöke. Cseh Dávid doktorjelöltet szakmai és emberi minőségében is érdemesnek találom a PhD fokozat odaítélésre.

Miskolc, 2018. augusztus

Dr. Mertinger Valéria, egyetemi tanár,
tudományos témavezető

TARTALOM

1. Bevezetés	6
2. Maradó feszültség a mérnöki gyakorlatban	7
2.1. Maradó feszültségek osztályozása és eredete	8
2.2. Maradó feszültség szerepe fáradási folyamatokban	13
2.3. Direkt maradó feszültséget létrehozó felülettömörítő eljárások.....	20
2.3.1. Szemcseszórás.....	21
2.3.2. Görgőzés	25
3. Maradó feszültség mérési lehetőségei.....	27
3.1. Gyakoribb vizsgálati módszerek.....	27
3.2. Maradó feszültség mérés röntgendiffrakciós alapjai	29
3.3. Maradó feszültség mérés központ nélküli röntgendiffraktométerrel.....	33
4. Maradó feszültség relaxációja.....	42
5. Célkitűzés, kutatási terv	47
6. Vizsgált ötvözetek és vizsgálati módszerek.....	50
7. Kutatási eredmények	58
7.1. Spontán deformációval zajló spontán feszültség változás monitorozása.....	58
7.2. Maradó feszültség relaxációja ciklikus igénybevétel közben	65
7.2.1. Próbatetek előkészítése feszültség monitorozási vizsgálatához	65
7.2.2. 42CrMo4 minőségű próbatetek maradó feszültségének fárasztó igénybevétel közbeni monitorozása.....	66
7.2.3. Bemetszett próbatetek maradó feszültségének fárasztó igénybevétel közbeni monitorozása.....	74
8. Összefoglalás	81
9. Új tudományos eredmények, tézisek	83
10. Az eredmények hasznosíthatósága	85
11. Summary.....	86
12. Irodalomjegyzék.....	87
Köszönetnyilvánítás	93
Melléklet.....	94

1. BEVEZETÉS

Amikor egy szilárd testben feszültség hat, miközben a testet semmilyen külső erőhatás nem éri, akkor a szóban forgó feszültséget maradó feszültségnek nevezzük. [1]. A maradó feszültséggel foglalkozó szakma hazai képviselői a maradó feszültség fogalma mellett használják még a belső feszültség, saját feszültség, rugalmas feszültség és a különböző, a kialakulásért felelős technológiák szerinti hő feszültség, alakítási feszültség stb. megnevezéseket is. Üzemi körülmények között egy alkatrészben ható tényleges feszültség a külső hatásokból ébredő és a belső feszültségek vektoriális összege lesz. Ebből fakad a gépészeti gyakorlat maradó feszültség ismeretére és befolyásolni tudására irányuló igénye, hisz a maradó feszültség jellege nagyban befolyásolhatja az alkatrészek élettartamát. Amikor a maradó feszültség befolyásolásáról beszélünk, akkor feszültség csökkentéséről, de sokkal több esetben arra törekszünk, hogy egy adott alkatrész alkalmazás által meghatározott térfogatában maradó nyomó feszültséget hozzunk létre. A maradó feszültséggel erősített gépalkatrészek élettartam becsléséhez ismernünk kell a maradó feszültség üzem közbeni viselkedését, vagyis üzem közbeni stabilitását. A felhasználás számára implementált direkt maradó nyomó feszültség üzem közbeni változását leírni képes, a folyamatra hatást gyakorló változók hatásával is kalkuláló, általános törvényszerűséget jelenleg nem ismerünk.

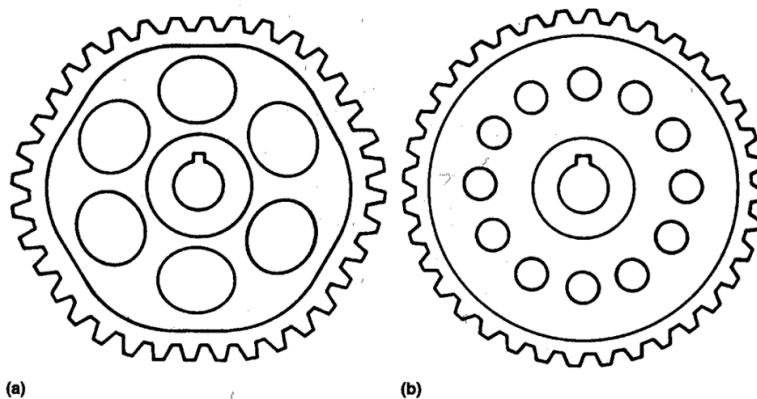
A maradó feszültség célzott gépipari alkalmazása egyre elterjedtebb gyakorlattá válik. Számos esetben a maradó feszültség értékét, beszállítói követelményként írják elő. Ezt támasztják alá a tudományos műhelyembe a versenyszférából folyamatosan érkező különböző maradó feszültség meghatározását célzó felkérések és a Németországban, Rennerodban a Stresstech GMBH-nál végzett szakmai gyakorlatom során szerzett tapasztalataim is. Ennek megfelelően a maradó feszültség értékének mind teljesebb meghatározása kulcsfontosságú a mérnöki gyakorlatban. A Miskolci Egyetem Fémtechnológiai és Nanotechnológiai Intézetében működő, Dr Mertinger Valéria által vezetett kutatócsoport azt tűzte ki célul, hogy a maradó feszültség röntgendiffrakciós roncsolásmentes vizsgálati módszert a magyar ipari szereplők számára megismertesse, szakmai szolgáltatással a jellemzően járműipari gyártást támogassa és egy olyan tudásbázist hozzon létre mely pillanatnyilag hiánypótló a magyar ipari és kutatói palettán. Szerencsém volt ehhez a kutatócsoporthoz csatlakozni és kutató munkámat is az ezzel a témával kapcsolatosan végeztem már graduális hallgató koromtól kezdődően.

Dolgozatomban néhány gyakorlati példán keresztül bemutatom a maradó feszültség jelentőségét, annak jellemző értékeit, csoportosítását, és értékének meghatározására irányuló legelterjedtebb kvalitatív módszereket. Részleteiben kitérek a kutatómunkám során alkalmazott kvantitatív eredményt adó röntgendiffrakciós módszer elméleti alapjaira és a saját szakmai tapasztalataimra. Megfogalmazom azon kérdéseket melyekre a tudományterület még nem adott választ, bemutatom vizsgálati eredményeimet melyekre a kérdések megválaszolása során jutottam és megfogalmazom téziseimet.

2. MARADÓ FESZÜLTÉG A MÉRNÖKI GYAKORLATBAN

A maradó feszültség jelensége nem csak a fémes anyagok, hanem minden szilárd test sajátossága. Jusson eszünkbe a fröccsöntött szögletes ételhordók műanyag fedele, amely hő hatására „propelleresedik”, vagy egy hosszában kettéhasított sárgarépa, mely ívben elhajlik, vagy a fa fűrészáru vetemedése. A maradó feszültség jelensége számos más hétköznapi anyagban és alkalmazásban megfigyelhető. Dolgozatomban, a továbbiakban a maradó feszültséggel kapcsolatos megállapításaimat fémes anyagokra vonatkoztatom.

A maradó, vagy belső feszültségek a testen belül egyensúlyi állapotban vannak. Ha képesek lennénk egy test minden egyes pontjában ható maradó feszültségeket összegezni, végül zérusvektort kapnánk, hiszen Newton III. törvénye szerint az erők mindig párosával lépnek fel. Ha ezt, az egyensúlyi maradó feszültség állapotot valahogyan megbontjuk, pl. egy testben furatot hozunk létre, a belső feszültségek újból egyensúlyi állapotba rendeződnek. Ilyenkor előfordulhat, hogy a darab egyes térfogatrészeiben a kialakuló feszültség értéke helyileg átlépi a folyáshatárt, ami a darab lokális alakváltozását, végeredményben a darab makroszkopikus deformációját okozhatja (1. ábra).



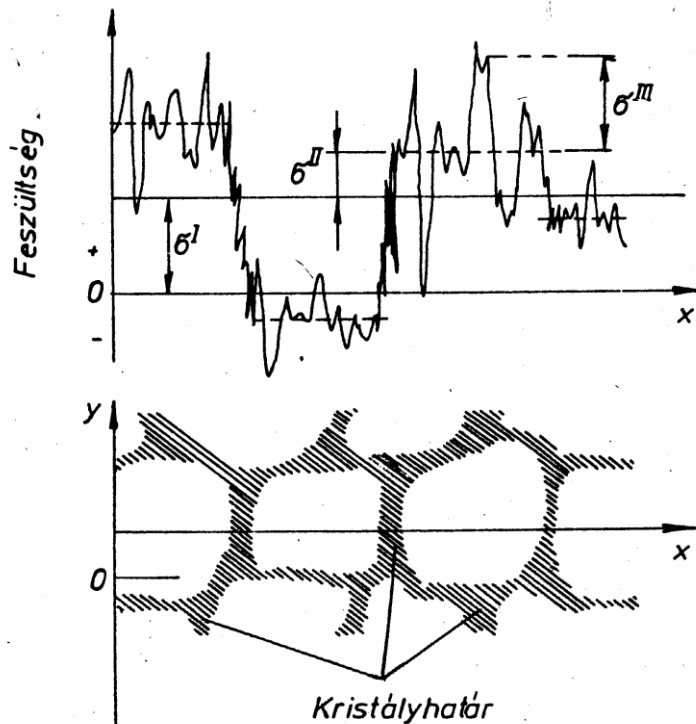
1. ábra Hőkezelt fogaskerék könnyítő furatolás után deformálódik (a) a hatás elkerülhető több kisebb furattal (b) [2]

Ez az egyik leggyakoribb belső feszültségek által előidézett meghibásodási mód. A másik káros jelenség az, amikor vektorok szuperpozíciójának elvéből következően a belső feszültség vektorosan összeadódik egy külső, feszültséggel, így növelve azt. Ekkor látszólag határfeszültség alatti külső megterhelés is a darab tönkremenetelét okozhatja. Ugyanez a jelenség magában hordozza annak a lehetőségét, hogy a maradó feszültség jelenlétét hasznunkra fordítsuk. Ehhez ismerni kell a test veszélyes pontjait, és ott a felhasználáskor várható veszélyes terhelés irányát, és képesnek kell lenni azzal ellentétes irányú maradó feszültséget létrehozni. Így a veszélyes pontokban a külső és a belső feszültségek különbsége hat.

2.1. Maradó feszültségek osztályozása és eredete

A belső maradó feszültségek kiterjedésüket tekintve hagyományosan három csoportba sorolhatók, mely felosztás feltételezi, hogy fémes tulajdonságú anyagokról beszélünk [3]

I. rendű vagy makroszkopikus feszültségeknek nevezzük azokat a belső feszültségeket, amelyek kiterjedésüket tekintve a darab befoglaló méreteivel azonos nagyságrendben vannak, összehasonlíthatóak vele. Ezeket másképpen makroszkópos feszültségeknek nevezzük. Ezeknek a feszültségeknek kialakulásában szerepet játszhat a darab képlékeny hidegalakítása, forgácsoló megmunkálás, hegesztés, nagyobb kiterjedésű darabok esetén, ha a lehűlést nem tudjuk precízen szabályozott keretek között végbe vinni, bármiféle nagy hőmérsékletű technológia, mint például az öntés, hőkezelés, meleg képlékenyalakítást követő hűlés. A hőnek kiterjedt testekben való terjedésére vonatkozó törvényszerűségek szerint, a darab keresztmetszetében a hőelvonás irányából a darab közepe felé haladva egyre kisebb lehűlési sebességek okozta eltérő mértékű hődilatáció ún. hőfeszültséget idéz elő.



2. ábra A sokkristályos fémekben előforduló feszültségek eloszlása a keresztmetszet mentén [3]

II. rendű vagy mikroszkopikus feszültségeknek nevezzük azokat a feszültségeket, melyek kiterjedésüket tekintve a szemcsék átlagos méretével vannak azonos nagyságrendben (2. ábra). Ezeknek a feszültségeknek értéke, előjele, azaz iránya a szemcsehatárt átlépve megváltozhat. A jelenség oka az adott irányú alakító erőre különböző módon reagáló egymással határos eltérő kristálytani orientációjú vagy fázisú szemcsék eltérő mértékű alakváltozási hajlandósága. Az alakító erő hatására környezetüknél kisebb mértékben képlékenyen alakváltozó szemcsék határaikon az alakítás irányában húzó feszültséget ébresztenek, az alakváltozásaik mértékének különbségével arányosan. Ezzel ellentétes hatással van környezetére, de elviekben

ugyanazzal a jelenséggel magyarázható, hogy az adott feszültséggel terhelt heterogén anyagi térfogatrészben az adott feszültségre nagyobb mértékben képlékenyen alakváltozó szemcse határain az alakítás irányába nyomó feszültséggel terheli a szomszédos szemcséket. Ez a másodrendű feszültség az adott térfogatrészben anizotróp módon ébreszt feszültségeket, mely a képlékeny alakváltozás mechanizmusának kristálytani irányoktól való függéséből következik.

III. rendű vagy szubmikroszkopikus feszültségnek nevezzük azokat a feszültségeket, melyek kiterjedésüket tekintve néhány atom átmérő távolságon belül hatnak, s melyeknek oka rendre valamely kristályrácson belüli rendellenesség: vakancia, intersztíciós vagy szubsztitúciós atom, illetve minden egydimenziós rácshiba, azaz diszlokáció. Könnyű belátni, hogy adott (fémes) kristályrácshba beépülő, idegen, az adott kristályrácst alkotó atomoknál nagyobb átmérőjű atomok környezetében nyomó feszültség fog uralkodni, míg az ötvözet alapféménél kisebb méretű atomok körül húzott térfogatrész alakul ki. Éldiszlokációk esetén az extra sík két oldala nyomott, míg az extra síkkal szembeni térrész húzó feszültséggel terhelt.

Természetesen az egyes technológiai műveletek első, másod, és harmadrendű feszültségeket egyaránt előidézhetnek. A maradó feszültség tartalom a szilárd fázis sajátos tulajdonsága, bár sokszor elhanyagolható mértékben van jelen és nem veszünk róla tudomást. Szükség szerű jelenléte belátható, ha abból indulunk ki, hogy egy szilárd testben maradó feszültség kialakulását idézi elő minden hőmérsékletváltozással járó technológia, hiszen csak végtelen lassú hőmérsékletváltozással tudjuk garantálni, hogy a hőmérséklet egy szilárd test minden pontjában (a darab magjában és a kéregben egyaránt) azonos legyen. [4]

Mivel fémes anyagokról beszélünk, ezek szokásos gyártási és alkalmazási folyamatait tekintve a nagyhőmérsékletű technológia előfordulása mindig jelen van. Minden nagyhőmérsékletű, ám a lehűlést nem szabályozó technológia hőfeszültségeket idéz elő. A technológiák ilyen jellegű csoportosítása önkényes. Jelen esetben nagyhőmérsékletű technológia alatt értek minden olyan eljárást, ami szabályozatlan hűlési körülmények között olyan maradó feszültség állapotot idéz elő, amit a további megmunkálás és a felhasználás során nem hagyhatunk figyelmen kívül.

A másodrendű maradó feszültségek definiálására használt példa, vagyis az eltérő orientációjú szemcsék eltérő képlékenyalakulási hajlandósága sejteti, hogy a maradó feszültségek kialakulásáért az ellenőrizetlen hőmérsékletváltozás mellett leggyakrabban képlékeny alakítási műveletek tehetők felelőssé, annál is inkább, mivel a képlékeny alakítás minden esetben együtt jár a szilárd test belső súrlódása miatt, annak felmelegedésével, illetve nagyon sok esetben a képlékeny alakítást eleve megnövelt hőmérsékletű alapanyagon végezzük.

A maradó feszültség kialakulását előidéző hőmérsékleti viszonyok és a képlékeny alakváltozás lokális kombinációjaként értelmezhető mindennemű forgácsoló, köszörülő

megmunkálás. Ezeknél az eljárásoknál az alkalmazott erők, a szerszám, valamint az előtolás, változó, karakterisztikus maradó feszültséget eredményez.

Az anyagi minőség maradó feszültségre gyakorolt hatása az eddig felsoroltakból némiképp következik. Minden típusú ötvözés hibát okoz a fémes rácsban, tehát harmadrendű feszültségek kialakulásához vezet. Az ötvözők jelenléte rontja a hővezetési és megváltoztatja a tágulási tulajdonságokat. A mechanikai viselkedést meghatározó Young Modulus közvetlenül, és a kialakulni képes mikroszerkezeti változatok miatt közvetve is anyagi minőségtől függő tulajdonság.

Technológiai feszültségekre mutat példát a 3. ábra. Az ábrán bemutatott technológiák során kialakuló feszültségállapot az eljárás következménye, elkerülni nem lehet, csak jellegét, nagyságát változtatni a művelet paramétereinek változtatásával. A 3. ábra (a) részén egy 200x15x4 mm méretű acéllemez jellemző keresztmetszeti maradó feszültség eloszlása látható edzett, illetve cementálás után edzett állapotban. Látható a cementálás kettős előnye, hiszen a megnövekedett felületi keménységen túl, a felületben kedvező nyomó jellegű feszültség állapotot idéz elő. A 3. ábra (b) részén küllős öntvények küllőinek felületén a küllő hossz tengelyének irányában ható feszültségek láthatók. A küllők felületi anyagi rétegeiben öntés után húzó feszültség marad vissza. A 3. ábra (c) része a cementálás és a cementálás utáni szemcseszórás illetve kétszeres szemcseszórás nyomán kialakuló mélységi maradó feszültség profil látható. Alkalmazás szempontjából mindig a felszíni rétegekben ható maradó nyomó feszültség hordoz előnyöket, hiszen a repedések kialakulásának és terjedésének a húzó feszültségek kedveznek.

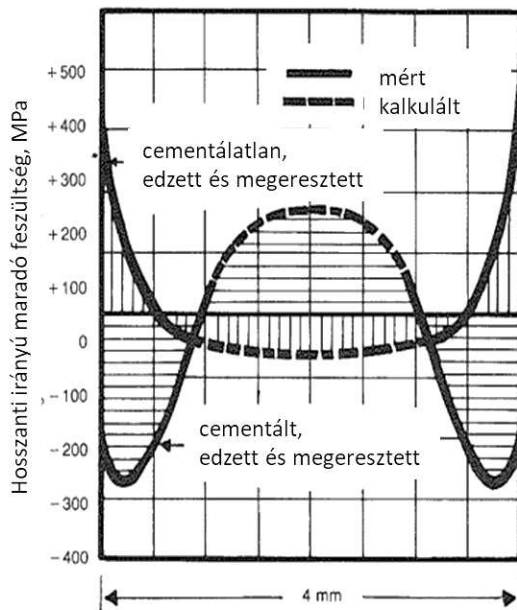
A 4. ábra egy 40 mm átmérőjű acélrúdban a három alap irányban fellépő feszültségek eloszlását mutatja húzott, görgőzött és feszültség csökkentő hőkezelés utáni állapotban.

Az 5. ábra egy általam vizsgált csapágygyűrű külső felületének tangenciális irányába ható maradó feszültség állapotát mutatja be a gyártási folyamat különböző lépései után. A csapágygyűrű-gyártás során kovácsolt előgyártmányt készítenek, ekkor áttolással a külső és belső gyűrű egy azonos munkadarabból kerül kialakításra. Ezután a gyűrűket kezdetben együtt majd külön esztergálják, majd a befejező művelet a gyűrűk nemesítő hőkezelése. Látható, hogy a felszínen mérhető maradó feszültség értéke milyen széles értéktartományban mozog.

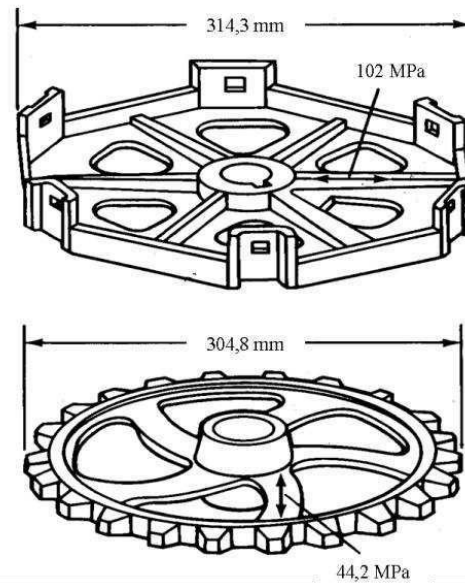
Tipikus maradó feszültség állapotot alakít ki, illetve hatást gyakorol az előző technológia által kialakított állapotra: az *öntés* (homok formába, kokillába, nagy nyomású olvadék befecskendezéssel), a *képlékeny alakítás* (hengerlés hidegen és melegen, húzás, sajtolás, mélyhúzás, kovácsolás süllyesztékben és szabadon alakítóan, hajlítás, egyengetés), *hőkezelés* (elsősorban az edző hatású hűtés, illetve minden szabályozatlan hűtés, *hegesztés* (különös tekintettel a hőhatás övezetre), *megmunkálás* (darabolás, fűrészelés, felületi köszörülés, forgácsolás, furat illetve horony kiképzés).

A hegesztés során kialakuló maradó feszültség jelenségének kontrollálása nagy szakértelmet igényel. A lebontó technológiák előtt alkalmazott maradó feszültség

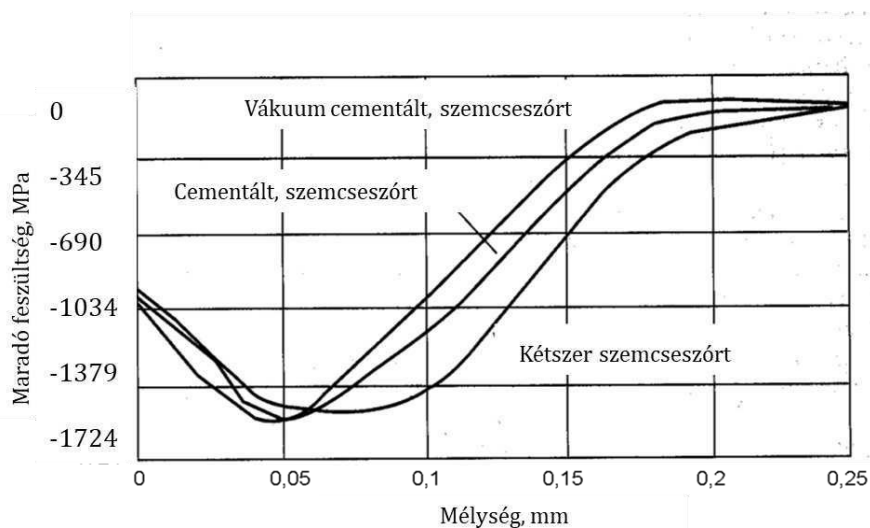
csökkentő hőkezelés, illetve a megmunkálás alkalmas megválasztása garantálni tudják a megfelelő terméket. Bizonyos esetekben a feszültségek okozta esetleges deformáció egyengetéssel orvosolható. Ezzel szemben a hegesztett szerkezetek egyengetése szóba sem jöhet a hegesztés technológiát úgy kell felépíteni, (az egy szakaszban elkészített varratok hosszát, irányát és sorrendjét úgy megválasztani) hogy az a lehűlés közben ne okozza a geometria selejteséget előidéző torzulását.



a) Hőkezelés után [5]

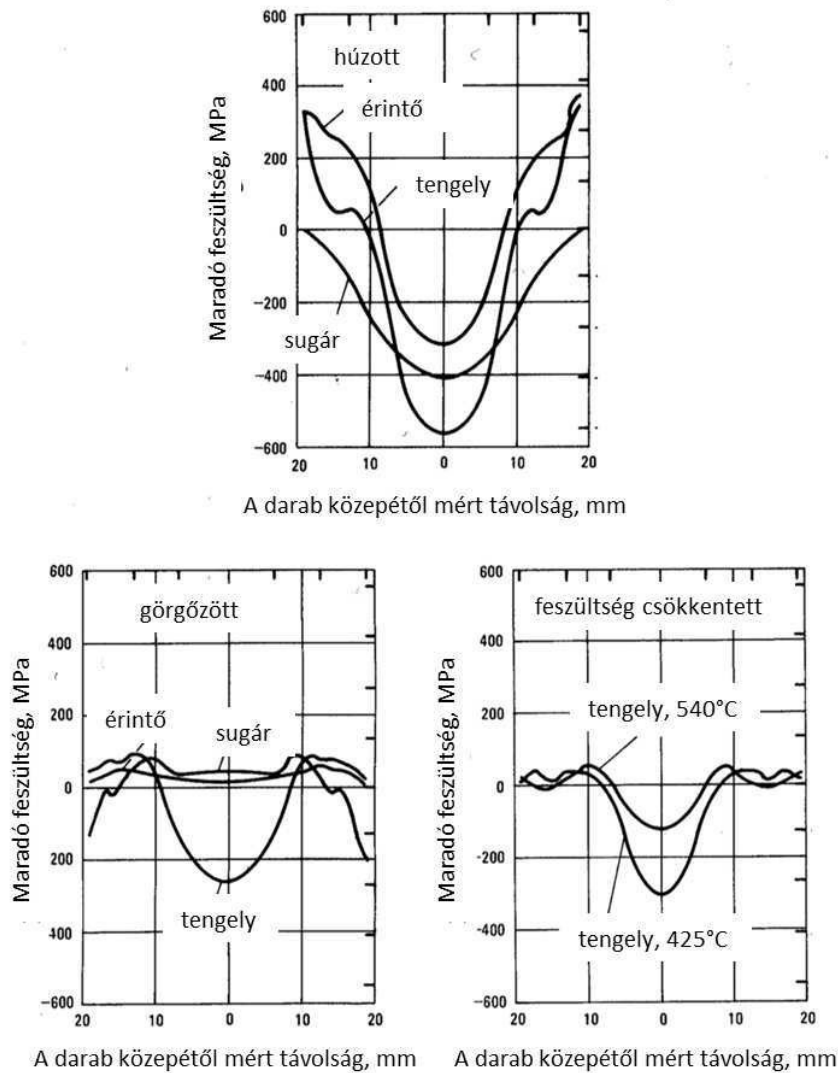


b) Öntés után [6]

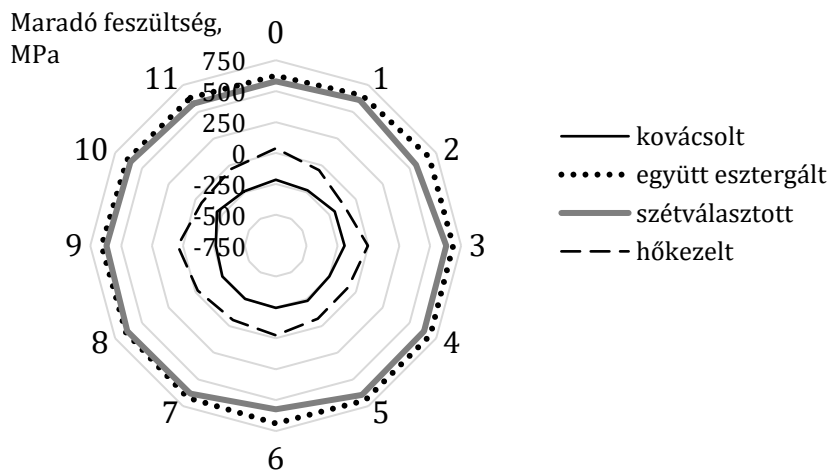


c) A maradó feszültség mélységi eloszlása cementálás és szemcseszórási után [7]

3. ábra Technológiai feszültségek



4. ábra 40 mm-es 1045-ös köracél 20%-os hideghúzása, görgözése és feszültségcsökkentő hőkezelése után kialakuló feszültségállapota a három jellemző irányban, a keresztmetszet mentén [8]



5. ábra Csapágygyűrű felületének tangenciális irányú maradó feszültség eloszlása a gyártási technológia egyes fázisaiban, 12 kerületi mérési pont, 30°-os szögelfordulásokkal [9]

A szabályozatlanul kialakuló maradó feszültség bármely alkalmazás esetén kockázati tényezőt jelenthet. Az egyes megmunkálási folyamatokra jellemző karakterisztikus maradó feszültség állapot mellett figyelembe kell venni a megmunkálási folyamatok egymásutánosságát. Még egy közel feszültségmentes (feszültség csökkentő izzításon átesett) próbatestben kialakuló adott megmunkálásra jellemző karakterisztikus feszültség sem írja felül a darab technológiai előéletéből származó korábbi feszültségeket, hanem hozzáadódik azokhoz.

A maradó feszültség sokáig, mint típusos hibaforrás foglalt helyet a gépészeti szakma fogalom világában. Azt elkerülni, szabályozni feszültségtelenítő, mentesítő, hőkezeléssel csökkenteni igyekeztünk. A feszültségmentesítő hőkezelés régóta alkalmazott eljárás, azonban feszültségmentes állapotot létrehozni így sem tudunk, ám annak mértékét nagy mértékben csökkenteni tudjuk. Bizonyos gyártási eljárások folyamán a maradó feszültségnek az az optima, ha annak értéke a munkadarab minden pontjában minél inkább közelít a nullához. Ilyenek a forgácsoló és a daraboló megmunkálások. Hengerelt lemeztáblák lézeres méretre vágása során a lemez integritásának megbontása annak vetemedését okozza. Ipari megrendelésű maradó feszültség vizsgálataim során talákoztam olyan extrém esettel, amikor a maradó feszültséggel terhelt alumínium táblák darabolása közben a felszabaduló feszültségek a lemez oly mértékű és dinamikájú alakváltozását okozták, hogy az a lézeres vágófejnek ütközve annak tönkremenetelét okozta.

Az úriparban alkalmazott minőségügyi előírások nem engedélyezik a hegesztett alkatrészek használatát. Bizonyos bonyolult, tagolt geometriájú, nagy kiterjedésű alkatrészek esetében is csak az egy tömbből kiforgácsolás az egyedüli megengedhető gyártási technológia, a hegesztés nem megengedett. Egy 1000 mm nagyságrendű befoglaló méretekkkel rendelkező néhány 10 mm keresztmetszetű rácsos tartók tömbből való nagy pontosságú forgácsolása során, a maradó feszültségek kézben tartása nagy szakértelmet igényel. Ellenkező esetben a darab vetemedése hibás gyártmányt eredményez.

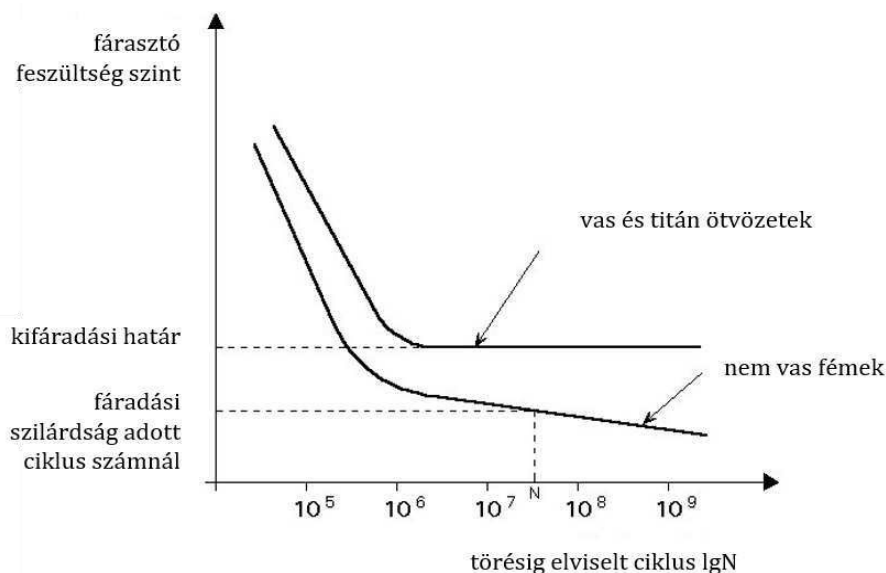
A felhasználási méretekre forgácsolt és a megfelelő állapotba hozott alkatrészek esetében a legtöbb esetben a felszíni maradó nyomó feszültség jelenti a legkedvezőbb állapotot.

2.2. Maradó feszültség szerepe fáradási folyamatokban

A mérnöki szerkezeteinket érő mechanikai igénybevételek időbeliségük alapján három kategóriába sorolhatók: megkülönböztetünk statikus, dinamikus, valamint ismétlődő jellegű terhelést. Az ismétlődő terhelés okozta anyagkárosodásból származó tönkremenetelt (törést okozó repedés) kifáradásnak, a folyamatot fáradásnak nevezzük. Általános mérnöki szerkezeteink károsodási okait kutatva a korrózió után a fáradás a második leggyakoribb, az összes eset negyedét kitevő meghibásodási mód. A fáradás jelenségének kiemelkedően nagy a jelentősége repülőgép szerkezetek esetében [10], [11], [12] ugyanis ezek meghibásodásainak több mint felét a fáradás okozza [13]. Ez

ellen a meghibásodási mechanizmus ellen használhatjuk fel a jól beállított maradó feszültség állapotot. [14]

A kifáradás jelenségét August Wöhler német mérnök ismerte fel a XIX század végén. Mérnöki pályája során vasúti kocsik gyártásával és üzemeltetésével kapcsolatosan tevékenykedett. Wöhler megbízást kapott a porosz kereskedelmi minisztertől vasúti tengelytörések okának felkutatására. Wöhler megfigyelte, hogy a vasúti kocsik tengelyei rendre 10-12 év üzemeltetés után törnek el. A törésig eltelt idők a véletlenhez képest mutatott ilyen jellegű szabályossága arról árulkodott, hogy egy eddig ismeretlen jelenséggel áll szemben. A probléma tanulmányozása és leírása több mint tíz évbe telt. Ő szerkesztett először S-N (feszültség és törésig elviselt ciklusszám), vagy más néven fáradási, illetve utána Wöhler görbéket (6. ábra) Wöhler készítette az első fárasztó berendezéseket és neki köszönhetjük a hidak szabad hő dilatációjának ipari gyakorlatba való bevezetését, miszerint a híd egyik végét görgőkre fektetjük [15].



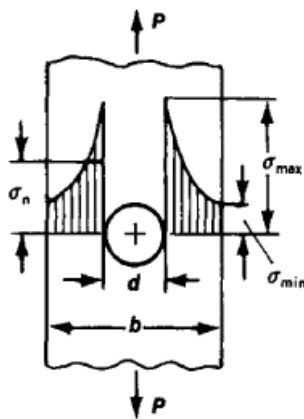
6. ábra Tipikus fáradási görbék [16]

A fáradásos tönkremenetelnek az a meglepő tulajdonsága, hogy ha az alkatrészt a rá jellemző folyáshatárnál kisebb (pl.: $\sigma_{\max}=0,7 \cdot R_{p02}$, ahol σ_{\max} a fárasztó feszültség maximális értéke, R_{p02} a terhelt állapotban mért egyezményes folyáshatár) feszültséggel ismételten megterheljük, bizonyos számú ismétlés után az igénybevétel töréshez vezet. A jelenségnek az az oka, hogy az ébredő feszültségek a fárasztott alkatrész egyes pontjain lokálisan átléphetik a folyáshatárt, noha a keresztmetszetre vonatkoztatott globális számítások átlag értéke végig a kritikus érték alatt marad. Ezeket a pontokat feszültség gyűjtő helyeknek nevezi a törésmechanika, mely tudomány terület a mechanika tudományok repedések kialakulásával és terjedésének körülményeivel foglalkozó ágát képezi [17] [18].

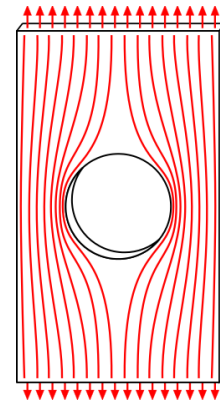
A feszültséggyűjtő helyek környezetében lejátszódó folyamatok leegyszerűsítve a következő módon írhatók le. Ha a feszültséget a testre ható erő és az erőre merőleges

keresztmetszet hányadosaként értelmezzük, akkor ideális (belső hibáktól, anyag folytonosság hiánytól mentes) anyag és szimmetrikus terhelő erők esetében tetszőleges keresztmetszet minden pontjában azonos feszültség ébred. Reális (folytonossági hiányokkal terhelt) anyag modell esetében belátható, hogy egy anyag folytonossági hiányt tartalmazó keresztmetszetben a feszültség eloszlás nem homogén. Hiszen az anyag folytonossági hiány helyén a test nem képes terhelést felvenni, a kieső teherviselő keresztmetszet miatt a hiba környezetére nagyobb terhelő feszültség hárul (7. ábra). A reális anyagmodell ilyen pontjai körül a teherviselő keresztmetszetben az átlagosnál nagyobb feszültségek hatnak, ez a feszültséggyűjtő hatás.

Ugyanilyen feszültséggyűjtő helyként viselkedik a hirtelen csökkenő keresztmetszet, illetve bármilyen bemetszés. Ezek feszültség gyűjtő hatására a feszültség lokális maximuma repedés kialakulását idézheti elő. Az ismétlődő igénybevétel során az anyagfolytonossági hiány növekedni képes. Előbbit repedéskeletkezésnek, utóbbit repedésterjedésnek nevezzük.



P: terhelés
 b: jellemző keresztmetszet
 d: az anyagfolytonossági hiány nagysága
 σ_{\max} : az anyagfolytonossági hiány határán kialakuló maximális feszültség
 σ_{\min} : a minimális feszültség
 σ_n : névleges, vagy átlag feszültség

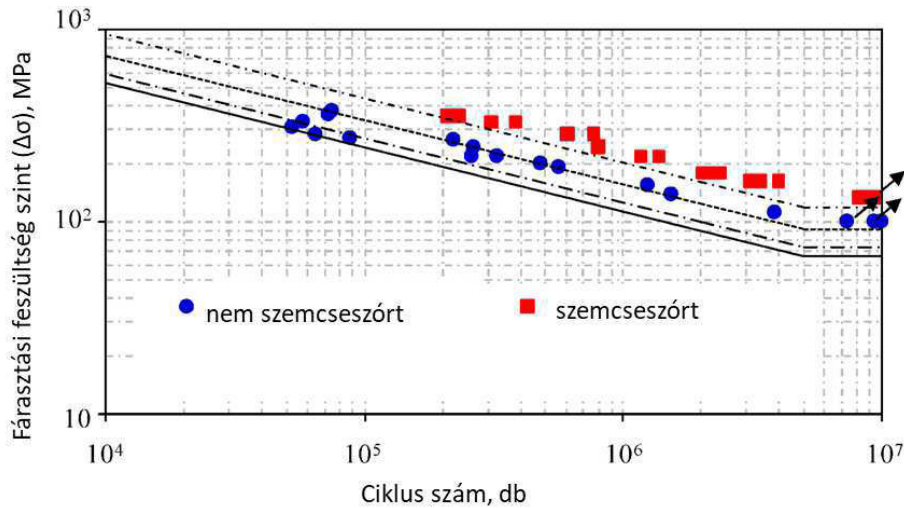


7. ábra Egy anyagfolytonossági hiány feszültség gyűjtő hatása [18]

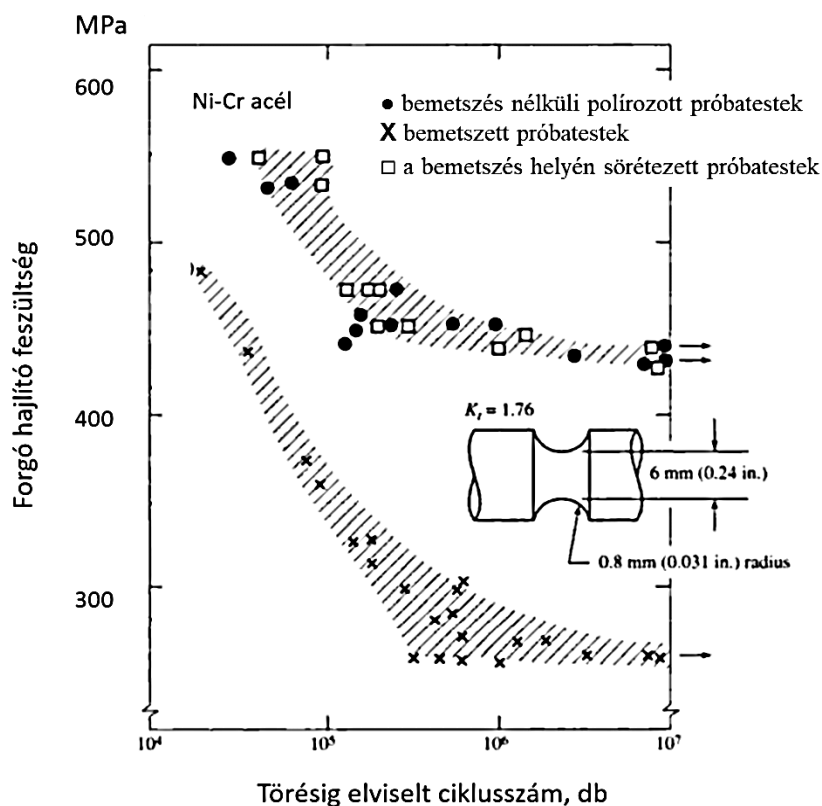
Feszültség gyűjtő helyként viselkedhet kompozit anyagok esetében a mátrix és az erősítő fázis közötti nem megfelelő adhézió. A fárasztó igénybevételnek kitett kompozit anyagok fáradási tulajdonságainak vizsgálata ezért nélkülözhetetlen [19], [20].

Az általános gépelemek esetén a szerkezet veszélyes pontjai (úgy, mint lépcsős tengely keresztmetszet váltási kerülete, vagy fogaskerék esetében a fogtő) a törésmechanika törvényszerűségei nélkül, pusztán tapasztalati úton kiválaszthatók, de egyedi alkatrészeink veszélyes, feszültséggyűjtésre hajlamos részei is nagy biztonsággal megkülönböztethetők a törésmechanikai eszköztárát használva. Ezek a helyek fokozottan ki vannak téve a repedéskeletkezés és terjedés, vagyis fáradásos anyag károsodás veszélyének. A repedések jellemzően a darab felületének ezekben a nevezetes pontjaiban keletkeznek, melyek terjedésének az a feltétele, hogy a repedés csúcsának környezetében egy kritikus értéknél nagyobb húzófeszültség hasson. Ilyen mikroszkopikus mechanikai környezetet kialakítani nem csak húzó, hanem mástípusú (csavaró, nyíró) illetve összetett feszültség is képes. A húzófeszültség a repedés terjedés előidézésén kívül a repedés keletkezésében is kulcsszerepet játszik, tehát jellemzően ez a veszélyes feszültség. Ha egy test veszélyes felületi pontjainak (feszültség gyűjtő

helyeinek) felületi rétegében maradó nyomó feszültséget tudunk létrehozni, az hatásosan javítja a darab kifáradási igénybevétellel szemben tanúsított ellenállását (8. ábra). A 8. ábra esetében az eredmények közepén furattal ellátott lapos lemez próbatestekre vonatkoznak. Látható, hogy a szemcseszórás a kifáradási görbe élettartam szakaszát nagyobb ciklus számok irányába tolja és a kritikus vagy kifáradási határfeszültség is kedvezően változik, növekszik [21], [7].



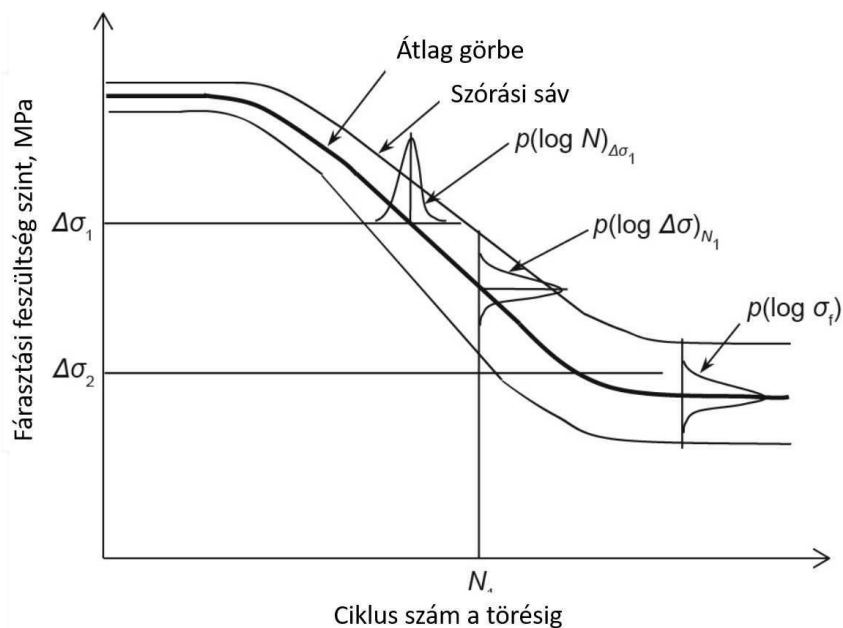
8. ábra A kifáradási határ változása a szemcseszórás hatására [21]



9. ábra A szemcseszórás hatása a kifáradási határra [18]

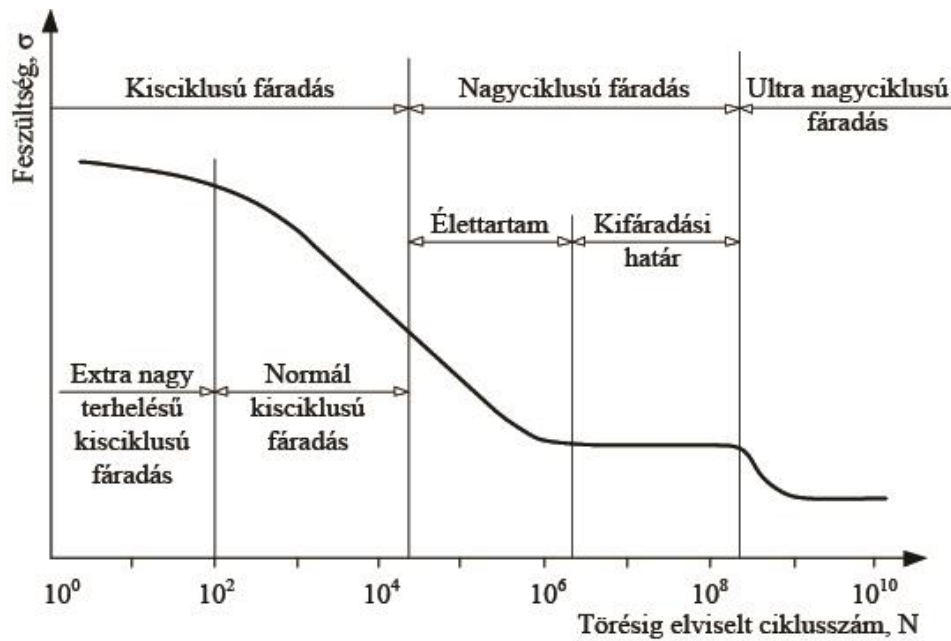
A 9. ábra egy nem szokványos forgó-hajlító fárasztó próbatestek Wöhler görbéjét mutatja. Látható, hogy a bemetszés okozta feszültség gyűjtő hatás (a kereszttek) a kisebb feszültségek és ciklus számok felé mozdítják a Wöhler görbét. A bemetszés helyi szemcseszórásos kezelésével, pedig visszakapjuk az eredeti ép próbatestekre jellemző kifáradási tulajdonságokat. A szabványos forgó-hajlító fárasztó próbatestek az itt bemutatottnál jellemzően nagyobb keresztmetszetűek és 0,8 mm rádiusznál lényegesen nagyobb 25-30 mm rádiusú átmenettel alakítják ki a rajtuk a karcsúsítást.

A fárasztó vizsgálatok nagymértékben különböznek a hagyományos mechanikai vizsgálatoktól. Szakító szilárdság meghatározásához három párhuzamos próbatesten végzett vizsgálat megbízható eredménnyel szolgál. A fárasztó vizsgálatokhoz (Wöhler görbe felvételéhez) sokkal nagyobb számú próbatest szükséges. Az egyes feszültség szinteken a törés bekövetkeztéig elviselt igénybevételi ciklus számok között akár két nagyságrendi eltérés is lehet. Emiatt lehetőség szerint az egyes feszültség szinten minél több, akár 10 db párhuzamos próbatest használata is szükséges lehet. A 10. ábra alapján belátható, hogy a Wöhler görbe nem tekinthető éles határvonalnak, egy valószínűségi eloszlást jelez [22] A fárasztó vizsgálatok nagyszámú próbatest igényén túl, azok elfárasztásának más mechanikai anyagvizsgálatokhoz képest nagy az idő szükséglete is, miközben kezelő személyzet jelenléte és a fárasztó berendezés folyamatos működése szükséges. Ebből következően a fárasztó vizsgálatok igen költségesek.



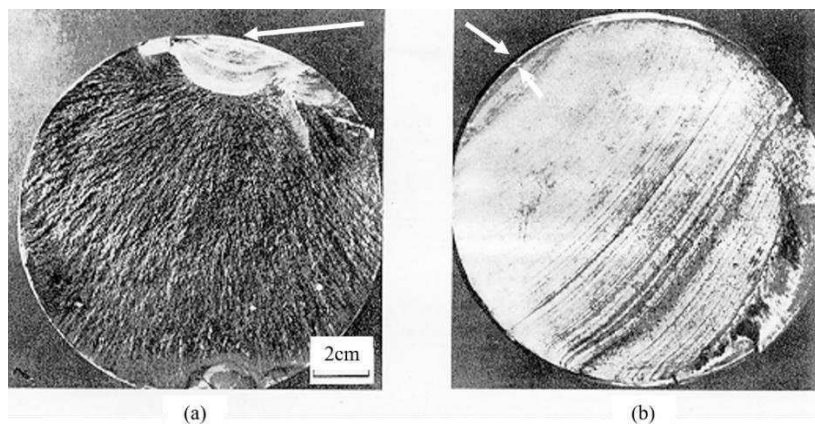
10. ábra Az S&N azaz Wöhler görbék élettartam szakaszának mérési értelmezése [23]

A 11. ábra egy teljes Wöhler görbét mutat. A görbe első, nagyobb szakaszán, 10^8 ciklusszámig jellemzően felületről induló repedés okozza a tönkremenettel. Az ultra nagyciklusú fárasztásnál már szerepet játszanak az alapanyagban belül jelen lévő hibák, folytonossági hiányok [24]. A görbe ezen szakaszán a meghibásodást okozó repedés sok esetben belső anyaghibából indul [25] [26].



11. ábra A kis és az ultranagy ciklusú tartománnyal kiegészített teljes Wöhler görbe [27]

A 12. ábra két nagyciklusú fárasztott tengely töretképét mutatja. A bal oldali (a) képen látható próbatestet magasabb fáradási feszültség szinten terhelték. Mindkét esetben fehér nyíl mutatja a repedés indulópontját. A repedés kiinduló pontjából az ismétlődő igénybevétel közben a repedés addig növekszik, amíg a teherviselő keresztmetszet rideg törés nélkül képes elviselni a ciklikus igénybevételt. Ezt nevezzük fáradásos repedés terjedésnek. Ezek mikroszkópi képe jellemzően világos, mivel ezek a felületek a folyamatos érintkezés hatására felpolírozzák egymást. A kisciklusú fáradás során a repedés nagyobb ugrásokkal halad és a töret felületnek nincs elég ideje a polírozódásra. (13. ábra)

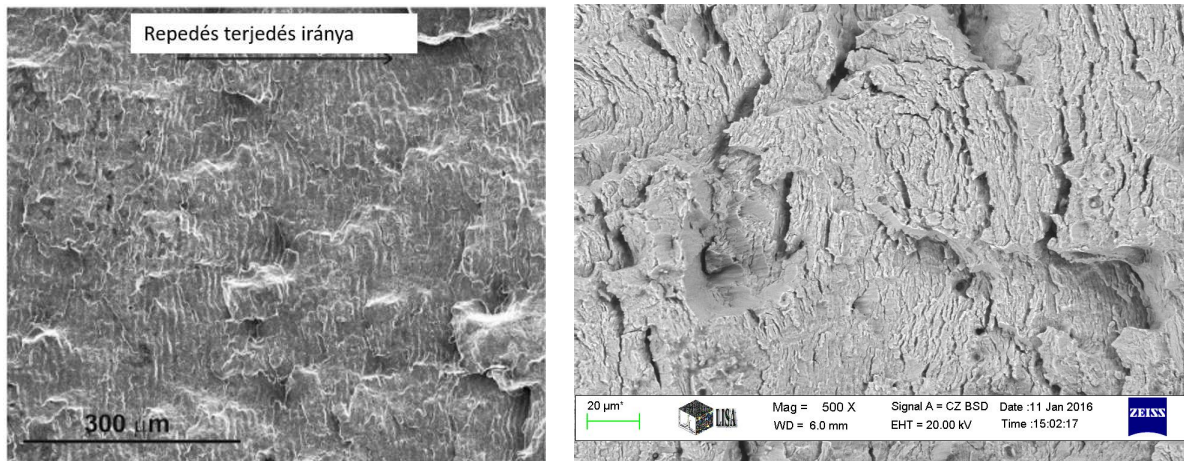


12. ábra Nagyciklusú fárasztó próbatestek törete [28]

A 14. ábra baloldalán látható egy UHCF próbatest „halszem” töretfelületének felvétele, ahol a fáradásos repedés terjedés tartománya a sötétebb szürke színű körszerű terület,

ami a kép jobb oldalán látható beágyazódott, a töret másik felében maradt részecske határáról indult.

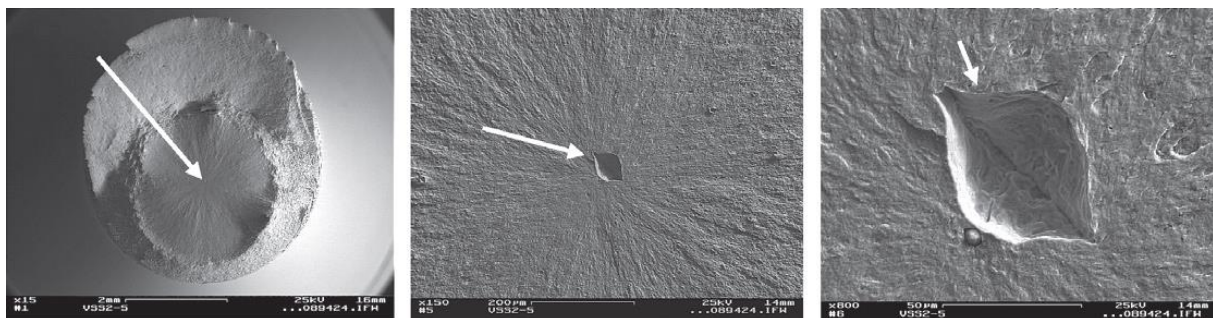
A fárasztó vizsgálatoknál fontos paraméter a ciklikusan ismétlődő feszültség maximum értéke, amplitúdója, középértéke és frekvenciája. A feszültséget lengő feszültségnek nevezzük, ha az igénybevétel során húzó és nyomó jellegű igénybevétel is fellép, illetve lüktetőnek, ha csak a tisztán nyomó vagy húzófeszültség hat. A ciklikus terhelés jellemzésére az R feszültség aszimmetria tényezőt használjuk, amit a maximális és minimális feszültség hányadosaként értelmezünk [27].



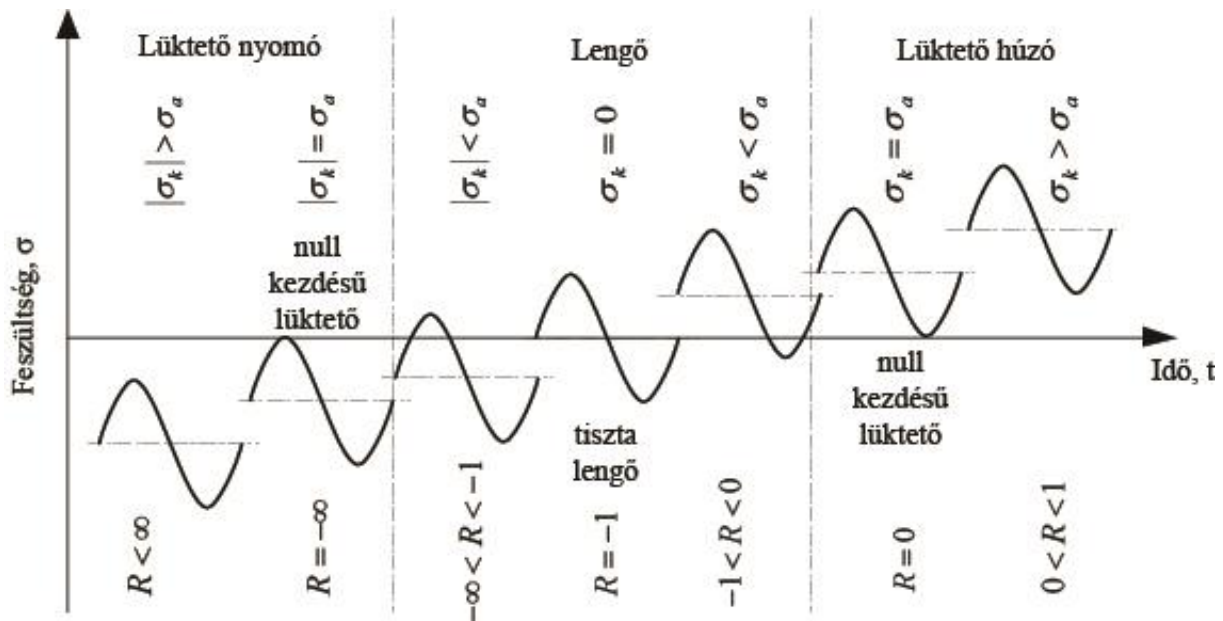
(a)

(b)

13. ábra Kisciklusú fárasztó próbatetek töretének SEM felvétele a) [29];b) [30]



14. ábra Az ultra nagyciklussal fárasztott próbatetekre jellemző belső pontból kiinduló fáradási, ún. halszem töret [31]



15. ábra Az ismétlődő igénybevételek jellegzetes feszültségváltozásai [27]

A gondos tervező igyekszik minden, a felhasználás szempontjából fontos jellemzőt megismerni, hogy azok kézben tarthatók legyenek. Gépelemeink fáradásos tönkremenetelét mindig a veszélyes pontokban jelentkező húzó jellegű terhelés okozza. Csak maradó nyomó feszültség létrehozására alkalmas direkt eljárások alakultak ki. Ezen eljárások együttes megnevezésére az angol nyelvű szakma és irodalom esetenként „surface compressing methods” gyűjtőfogalmat használja, melyet a magyar terminológia felülettömörítésnek nevez. A legelterjedtebb maradó nyomó feszültség létrehozására irányuló technológia a szemcseszórás. Emellett ugyanilyen kedvező hatású a görgőzés, a mángorlás, a cementálás és a lézersokkolás is.

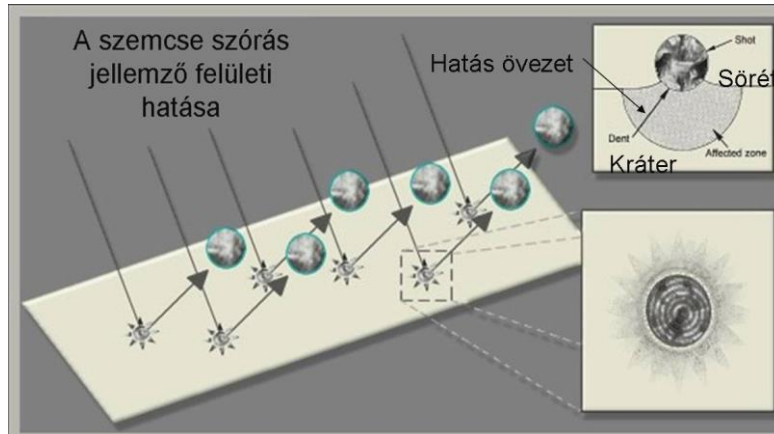
A maradó feszültség célzottan felhasználáshoz történő optimalizálása, különös tekintettel a fárasztó igénybevételnek kitett alkatrészekre, mára az ipari gyakorlat részévé vált. A direkt maradó nyomó feszültség előállítható változatos módokkal kompozit anyagokban is [32]. Létező eljárás fém alkatrészek szelektív lézer olvasztásos 3 dimenziós nyomtatás esetén, hogy a nyomtatott belső rétegeket azok egymásra építése közben lézersokkolással kezelik, így az elkészült darab maradó nyomó feszültségének mélységi eloszlásában a feszültség maximum értékének platon tartása minden más ismert technikánál [33] mélyebben megvalósítható [34].

2.3. Direkt maradó feszültséget létrehozó felülettömörítő eljárások

A próbatest felületén direkt maradó nyomó feszültség létrehozására irányuló technológiák közül a két legelterjedtebb módszer a szemcseszórás és a görgőzés. Ezen felül egyes felületötvözési technikákkal különösen a cementálással [35], lézeres sokkolással [36], az indukciós hőkezeléssel [37] is hasonló maradó feszültségeket építhetünk fel [38].

2.3.1. Szemcseszórás

Szemcseszórásnak azt az eljárást nevezzük, amely során egy céltárgyra nagy sebességgel, nagyszámú, néhány milliméter átmérőjű szilárd szemcsét röpítünk (16. ábra).



16. ábra A szórás hatás mechanizmusa [39]

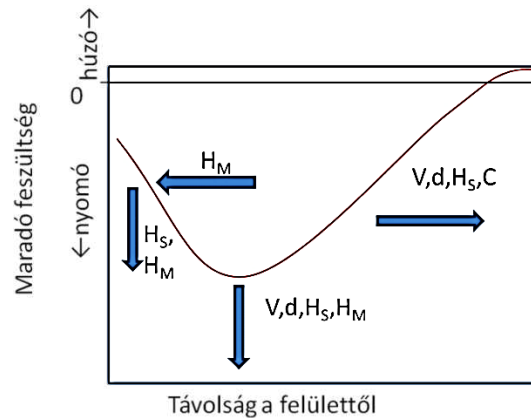
A szemcsék anyaga szerint osztályozva beszélünk acél és öntöttvas szemcsékkel történő szemcseszórásról, homokszórásról illetve szárazjéggel történő szórásról.

Ez a technológia létrejöttékor nem a fémes anyagok kifáradási tulajdonságait volt hivatott javítani, hanem fém termékek felületén mechanikusan tapadó szennyeződésektől való mentesítés volt eredeti feladata. Egy anyagvizsgálati példa, hogy a penetrációs folyadékkal történő repedés vizsgálatnak követelménye, a munkadarab felületének fémtisztasága.

A revétlenítés mellett ennek az eljárásnak egy másik jelentős ipari alkalmazása az, mely során az adott céltárgyat elsősorban acél golyókkal szórják (szemcseszórás), olyan célból, hogy a darab felületén és felületi anyagi rétegeiben néhány tíz mikron mélységben mikroszkopikus kiterjedésű maradó nyomó feszültséget hozzanak létre. A 16. ábra bemutatja a szemcseszórás mechanizmusát, miszerint a kezelt felületbe becsapódó szemcsék az anyagban részben képlékeny alakváltozást idéznek elő és a szemcse mozgási energiájának egy részét az anyag maradó feszültség formájában tárolja. [2] Ez a módszer elsősorban a fárasztó igénybevételnek kitett alkatrészek kifáradással szembeni ellenálló képességét növeli. Ugyanis a felületi rétegben a szemcseszórás hatására bekövetkezett képlékeny alakváltozás okozta keményedés és a kialakuló maradó nyomó feszültség a hajlító, illetve hajlító csavaró, fárasztó igénybevételek során, a darab felületén ébredő húzó feszültségek ellen dolgozik.

Az szemcseszórás során ébredő maradó nyomó feszültséggel rendelkező réteg vastagsága és a maradó nyomó feszültség értékének alakulása a mélység függvényében a darabot bombázó szemcsék minőségétől, sebességétől és a szemcseszórt felület minőségétől nagymértékben függ (17. ábra). A paraméterek változtatásának hatását a görbe lefutására a nyilak mutatják. A paraméterek szinte mindegyikének növekedése a

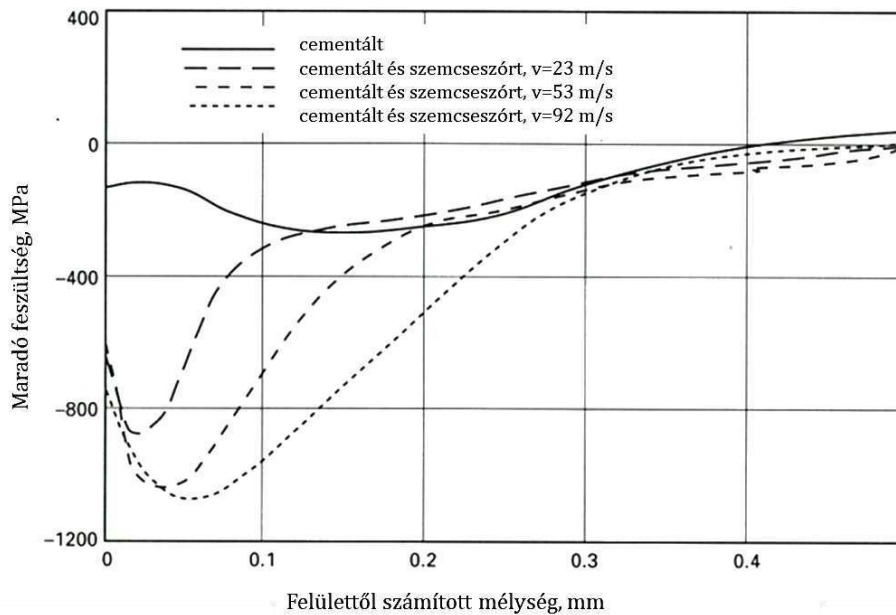
nagyobb nyomó feszültség kialakulásának kedvez a felületen, illetve a felület alatti nyomó feszültség maximum helyét határozza meg. Általános szempont, hogy lehetőleg kemény (45-52 HRC), egyenletes méreteloszlású és gömbszerű szemcsével, nagy sebességgel és legalább 100%-os lefedettséggel dolgozzunk.



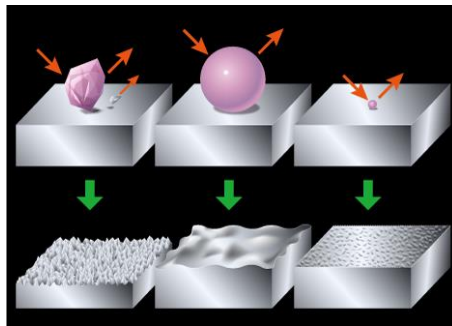
17. ábra A szemceszórás paramétereinek elvi hatása a felület alatti feszültségprofil kialakulására. V a tömörítő szemcse sebessége, d a szemcsék mérete, C a szórás fedettsége %, H_S a szórásra használt szemcse keménysége, H_M a szórt anyag keménysége [4]

A sebesség hatására mutat konkrét példát betétedzett acél felület alatti feszültségeloszlására vonatkozóan a 18. ábra

Nem szabad szem előtt téveszteni, ha nem megfelelő a szóró szemcse alakja, az olyan mértékű felületi érdesség eldurvulást okozhat, ami a kezdeti célkitűzések (a fáradási tulajdonságok javítása) megvalósítását is veszélyeztetheti, hiszen ilyenkor a szemceszórással hozunk létre feszültség gyűjtő helyeket (19. ábra). Megfelelő szemcséket előállíthatunk öntéssel, illetve drótból való darabolással. Az öntött szemcsék kezdeti alakja megfelelő, ám ezek relatíve törékenyebbek, ezzel szemben a drótból darabolt szemcsék szívósabban viselkednek, viszont ezeket direkt maradó feszültség létrehozására való felhasználás előtt kondicionálni, vagyis gömbölyíteni szükséges. Erre a célra megfelel, ha olyan testet szórunk az ilyen szemcsékkel, amiknél nem okoz problémát a felület érdessége, mert nem a szórás alakítja ki a termék végleges felszíni jellemzőit. Szórás közben a szemcséket gyűjtik, elválasztják az általuk levett esetleges szennyeződésektől, méret szerint osztályozzák és a szemceszórás követelményeinek továbbra is megfelelőket visszavezetik a folyamatba.



18. ábra A szóráshoz használt szemcse röpitési sebességének hatása a maradó feszültség mélységi eloszlására [2]

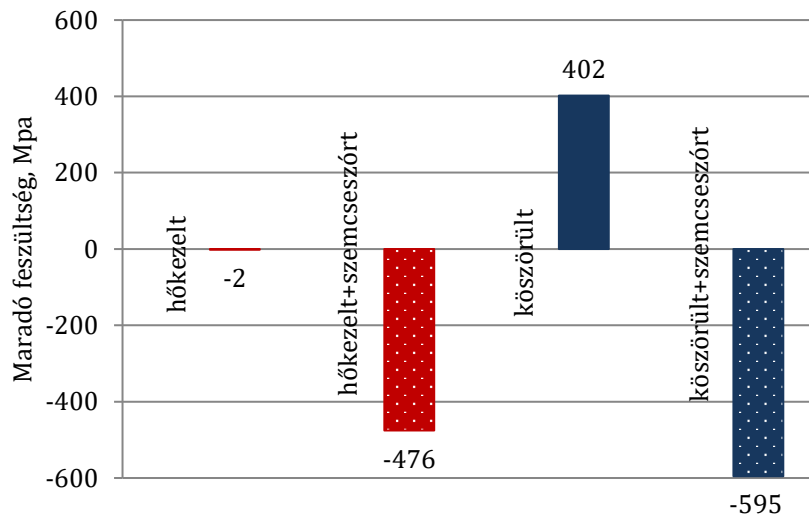


19. ábra A szemcseszórás felületi minőségre gyakorolt hatása [40] [41]

A direkt maradó feszültséggel kapcsolatban felmerül az a probléma, hogy a maradó feszültség a kisebb szilárdságú anyagokban, nehezebben hozható létre, kisebb mértékű tulajdonság változásokat okoz [4].

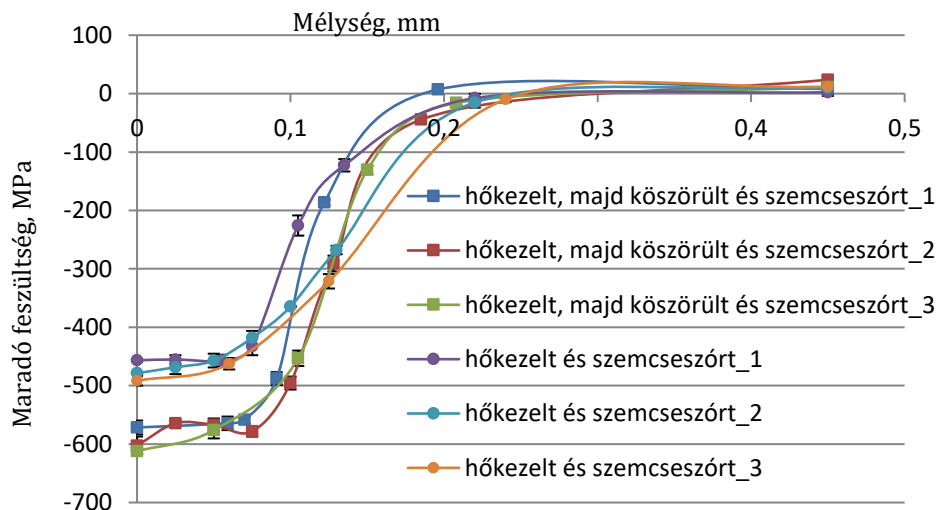
A témában végzett korábbi vizsgálataim rávilágítottak arra, milyen jelentős szerepet játszik az anyag minőség és a hőkezeltégi állapot a direkt maradó nyomó feszültséget alkalmazó technológiák (szemcsés szórás, görgőzés) eredményességében, azaz a létrehozható feszültségállapot minőségében [9], [42]. Különösen figyelmet érdemelnek, a felületi jelenségek. Egy adott munkadarab felületi anyagminőségére nem kívánt hatást gyakorolhat pl. a hőkezelés. A karbon hőntartás hatására kiéghet a felület közeli rétegekből, csökkentve annak szilárdságát, így az ilyen felület csak csekélyebb mértékű maradó feszültséget képes befogadni, tárolni [43]. A 20. ábra saját mérési eredményeimből ad példát a felületi összetétel változás maradó feszültségre gyakorolt hatására. Ebben az esetben egy közepes karbon tartalmú nemesíthető acélból 2db (20x30x100 mm es hasáb) próbatestet oxidatív környezetben nemesítettem mely a felületi rétegekben található karbon kiégését okozta. Az ausztenitesítést 900°C-on 1 órás hőntartással végeztem, a darabokat olajban edzettem, majd 600°C-on fél órán át

megeresztettem. Az így létrejött dekarbonizációs réteget az egyik próbatest egyik oldaláról 500 μm vastagságban síkköszörűvel eltávolítottam. A köszörűkő átmérője 250 mm, fordulat száma 2950 1/min volt. Ezt követően 3 pontban felületi feszültséget mértem a köszörült, illetve a hőkezelt felületen. Majd a próbatesteket a ZF Hungária KFT üzemében szemcseszórták. Szemcseszórást követően a korábbi helyeken újra mértem a feszültség értékeket. A négy állapotot a 3 felületi feszültség átlagával jellemzem. Az eredményeket a 20. ábra mutatja.



20. ábra A felület minőségének hatása a felületi maradó feszültségre (saját mérés)

Szemcseszórást követően a 3-3 felületi mérés helyén mélyégi maradó feszültség eloszlást is meghatároztam. Az eredményeket grafikusán ábrázolva a 21. ábra adódik.



21. ábra A felületi minőség hatása a szemcseszórást követő maradó feszültség felület alatti eloszlására, 3 párhuzamos mérés mintáknaként (saját mérés)

A köszörülésnek köszönhetően, hosszirányban, jelentős húzó feszültségek uralkodnak, míg a hagyományosan hőkezelt, edzett, megeresztett állapotú próbatesten azonos irányban jó közelítéssel feszültségmentes állapot mérhető, ennek ellenére mégis a köszörült felületen átlagosan 20%-al nagyobb maradó nyomó feszültséget ébreszt az

azonos szemcseszórási eljárás. Tehát a mérési eredmények azt igazolják, hogy amennyiben a nemesítés során kialakuló dekarbonizálódott réteget leköszörüljük, a szemcseszórás nagyobb maradó feszültséget alakít ki, mint a hagyományosan edzett, dekarbonizálódott felületen.

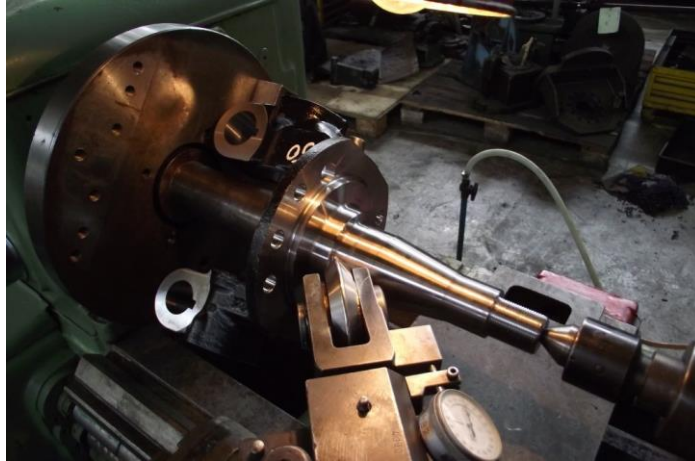
2.3.2. Görgőzés

Görgőzés során egy elfordulni képes kemény tárcsát [44], vagy egy folyadék ágyban szabadon forgó acélgolyót [45] nyomunk adott erővel a munkadarab felszínéhez. Amennyiben a kezelendő munkadarab körszimmetrikus az eljáráshoz különösen alkalmas, ha azt esztergapadba fogjuk a görgőző szerszámot pedig, mint az esztergakést a darab felszínéhez szorítjuk.

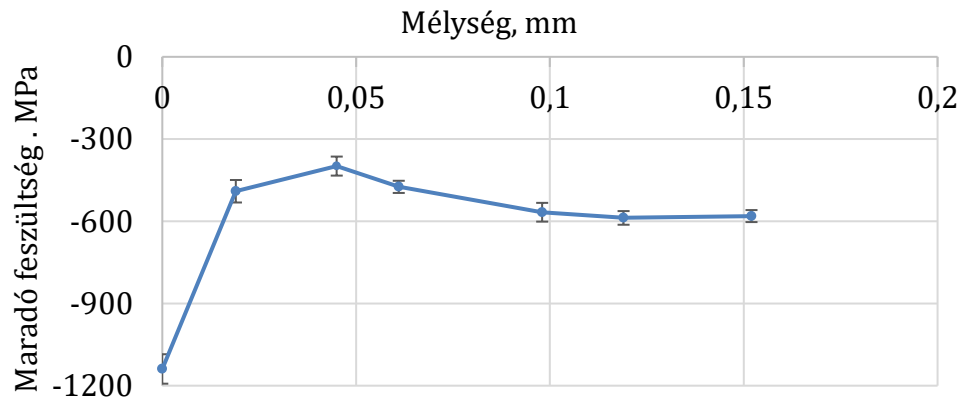
A görgőzést a maradó feszültségre gyakorolt kedvező hatásán kívül népszerűvé teszi még a felszíni érdességre gyakorolt pozitív hatása is. [32]

Az eljárás nem csak forgás szimmetrikus alkatrészekhez adaptálható, hanem bármilyen más geometriájú munkadarabra is. Ekkor azt kell biztosítani, hogy a kezelni kívánt felületet követni tudjuk a görgőző szerszámmal. Erre a célra kitűnően alkalmas egy CNC robotkar. [46]

A görgőzés népszerűségének magyarázata, hogy esztergapad minden gépgyártással foglalkozó műhelyben található. Általánosnak mondható, hogy a görgőzéssel kezelendő felületen többször is áthalad a görgőző szerszám. Az ismételt görgőzések során rendszerint növekszik a görgőt a munkadarabhoz szorító erő nagysága. A görgőzési erő nagyságát úgy választják meg, hogy a görgőzési eljárás után a kezelt munkadarab felületén jelentős hideg képlékenyen alakult réteg alakuljon ki. Az így kezelt felület szilárdsági értékei nőnek a hideg alakítás következtében. A komplett szerkezet ellenállóbbá válik a korróziós kifáradással és a feszültségkorróziós töréssel szemben, a felület görgőzésének következtében. További az előzőekkel összefüggő hatás, hogy ez a technológia is növeli az anyag kifáradási határát, épp úgy, mint a szemcseszórás. A görgőzés és hatásainak élettartalomra, használhatóságra, korróziós, fáradási és szilárdsági tulajdonságaira gyakorolt hatásának tanulmányozásával világviszonylatban a volt Szovjetunió és Japán foglalkozott a legtöbbit. A görgőzésnek változatos típusai alakultak ki. Mai napig igen kedvelt széles körben elterjedt köszönhetően annak, hogy forgásszimmetrikus alkatrészek esetében a szemcseszóráshoz képest relatíve kisebb eszköz igényű eljárás, ám használata hasonló pozitívumokkal jár. A 22. ábra egy görgőzési pillanatképet mutat, egy a Rába Járműipari Holding NYRT járműgyárában történő tárcsás görgőzéssel kezelt tengelycsuklóról. A 23. ábra egy saját mérésből származó mélységi maradó feszültség eloszlást mutat egy görgőzött tengelycsukó belső lekerekítésében.



22. ábra Tengelycsukló belső lekerékítésének tárcsás görgőzése esztergapadon a Rába Járműipari Holding NYRT. járműgyárában



23. ábra Mélységi maradó feszültség eloszlás 22. ábra által bemutatott görgőzéssel kezelt tengelycsukló belső lekerékítésében. A mérési pont a lekerékített derékszög, szögfelezőjének felületi dőféspontja. A mért feszültség iránya a szögfelező és az alkatrész forgástengelye által meghatározott síkban fekszik. (saját mérés)

3. MARADÓ FESZÜLTSG MÉRÉSI LEHETŐSÉGEI

A szemcseszórással vagy egyéb más módon létrehozott felületi maradó feszültség ipari alkalmazásának terjedésével, a minőség irányítás és ellenőrzés megköveteli a maradó feszültséget létrehozó eljárások sikerességének mérhetőségét. A mérési módszerek alapvetően kétfélék lehetnek: mechanikai és fizikai módszerek. A mechanikai vagy roncsolás módszerek a feszültség relaxációjával együtt járó deformáció mértékéből következtetnek a feszültségállapotra, amíg a fizikai vagy roncsolásmentes módszerek a rácsszerkezetben bekövetkező változásokat határozzák meg valamely módon. Fizikai módszer lehet például röntgen vagy neutrondiffrakció, akusztikával vagy mágneses domének tulajdonságaival dolgozó módszer. A gyakoribb módszereket röviden ismertetem, majd az egyik legelterjedtebb, kvantitatív eredményt adó, általam is használt röntgendiffrakciós módszert a következő fejezetben részletesen bemutatom.

3.1. Gyakoribb vizsgálati módszerek

- Kifejezetten a szemcseszórás következtében létrejött maradó nyomó feszültségek mértékének jellemzésére használatos módszer, név szerint **Almen teszt**. Ennek során egy, 20 mm széles 65 mm hosszú 1-3 mm vastag acéllemez annak két oldalán két-két csavarral egy síkfelületre rögzítve a maradó nyomó feszültséggel erősítendő alkatrészrel együtt szemcseszórják. Ennek következtében a felszín képlékenyen alakul, megnyúlik, ezért a négy csavart meglazítva a próbatest a mintatartóból való felszabadulása után ívben meghajlik, a szórással kezelt oldalon domborodva. A kihajlás mértékét ellenőrizve következtetni lehet a szemcseszórás paramétereinek megfelelőségére. A szemcseszórással kezelt, s közben Almen teszttel figyelemmel kísért munkadarabokon szokás feltüntetni az Almen tesztek kihajlásából számított mérőszámot. [47]
- A következő módszer azon az elven alapszik, hogy egy feszültséggel terhelt térfogatba lyukat fúrva (**hole drilling**) a feszültség relaxáció a lyukat deformálja. A deformáció mértékéből lehet a feszültségállapotra következtetni. Ezzel a módszerrel mélységi változások is kimutathatók. A deformáció nagyságát nagyfelbontású kamerával vagy a felületre rögzített nyúlás mérő bélyegekkel lehet monitorozni. Ehhez egy speciálisan kialakított, rozetta típusú nyúlásmérő ellenállást helyezünk a vizsgálandó felületre. A rozetta közepén kialakított kisméretű (1,0 mm) nyíláson keresztül az alkatrészbe furatot készítünk, mely az anyageltávolítás hatására, a vizsgált pont környezetében felszabaduló feszültség a rozetta segítségével meghatározható. A furatot határoló anyagi részekben a maradó feszültségek relaxációja során torzul a furat, s szűk környezete [48].
- Találunk olyan feszültség mérési eljárást is, mely során egy **optikai kettős réteget** viszünk fel a vizsgált modellre vagy alkatrészre. Ezzel a bevonattal szemben támasztott igényeink a jó tapadás, a csekély mértékű kúszás és zsugorodás. Ezzel a módszerrel lehetőségünk van a szerkezet valós terhelési körülményei között végzett vizsgálatára. A terhelés hatására a bevonat rétegben

a darabban lévőkkal azonos feszültségek ébrednek, mely feszültségek hatására a felszíni optikai kettős réteg törésmutatója és vastagsága megváltozik. A terhelt körülmények között vizsgált, rögzített optikai tulajdonságait jellemző adatokból, összehasonlítva azokat a nyugalmi állapotban lévő bevonat ismert jellemzőivel, számolható a felszínben uralkodó feszültség.

- Magnetoelasztikus anyagok esetén a maradó feszültség a **mágneses doménszerkezetre** gyakorolt hatása is lehetőséget teremt a maradó feszültségek lokális maximum értékének detektálására. Ez az ún. Barkhausen zaj vizsgálat. Csak ferromágneses anyagok vizsgálatára alkalmas módszer mely során a vizsgált tárgyat mágnesezzük. Ennek hatására a domén szerkezet ugrásokkal átmágneseződik, rendeződik. A szakaszos ugrások lokális fluxusváltozásokat jelentenek, amelyek egy detektortekercsben kis feszültségugrások sorozataként jelennek meg, ez a Barkhausen-zaj. A Barkhausen zaj nagyságára a maradó feszültségen kívül számos más paraméter, helyi szilárdság, ebből fakadóan a helyi képlékeny alakíthatóság vagy ötvözöttség is hatást gyakorol. Az eljárás nem szolgál kvantitatív maradó feszültség eredménnyel, csak ellenőrzésre alkalmas. Általánosságban elmondható, ha egy vizsgált gépelem felülete mentén a Barkhausen zaj egyenletesen jelentkezik, akkor a vizsgált felület mentén nincs kiugró maradófeszültség tartalmú térfogatrész sem. Az ezen az elven működő berendezések már kereskedelmi forgalomban is megtalálhatóak. Az eljárás jól robotizálható és a vizsgált céltárgyra optimalizálva gyártásba illeszthető. Különösen alkalmas pl. bütykös vezérműtengelyek, fogaskerék, főtengelyek köszörülési beégéseinek kiszűrésére.
- Feszültséggel terhelt anyagokban az ultrahang terjedési sebessége a feszültségállapottól változik. Egy jó kalibrációs mintával olcsó, mobilis mérést lehet megvalósítani. Transzparens anyagok esetén a fény terjedési sebességét mérve lehet a feszültségállapotra következtetni.
- Nagyfelbontású és érzékenységgű hőkamerával a rugalmas feszültség hatására kialakuló hőmérséklet-változás is kimérhető pl. acélokban 1 MPa feszültség megfelel 1 mK hőmérséklet-változásnak.
- A legnagyobb feszültség felbontást elektrondiffrakciós vizsgálattal lehet elérni, így ez a technika a II és III rendű feszültségek mérésére alkalmas igazán. A neutrodiffrakciós mérés előnye a röntgendiffrakcióhoz képest, hogy nagyobb mélységig hatol be az anyagba és így nagyobb a kölcsönhatási térfogat, ahonnan a detektált sugarak információt hoznak. Meg kell jegyezni a módszer azon komoly alkalmazhatósági korlátját, hogy a vizsgálatához neutronforrásra van szükség, ami az eljárást bonyolulttá és költségessé teszi.

3.2. Maradó feszültség mérés röntgendiffrakciós alapjai

A röntgen sugár hullám természete szolgál a röntgendiffrakciós mérési módszerek fizikai alapjául. Mind az elektromágneses, mind a mechanikai hullámokra igaz az, hogy ha hullámhosszukkal összemérhető rácsállandójú rácson szóródnak, a visszaverődő hullámok egymáshoz képest fáziseltolódást szenvednek. Ha a szóródó hullám eredetileg monokromatikus volt, akkor a szórt hullámok fázis különbsége állandó, ekkor koherens hullámokról beszélünk. A koherens hullámokra igaz, hogy a fázis-eltolódásokból eredően a visszaverődő hullámok találkozásukkor a hullámok szuperpozíciójának törvényei alapján fáziseltolódásaik szerint erősíthetik és gyengíthetik egymás hatását. A hullámok összeadódását interferenciának nevezzük. Az azonos fázisban találkozó szóródott hullámok maximálisan erősítik egymás hatását, az egymással ellentétes fázisban találkozó szóródott hullámok kioltják egymást. A szóródott hullámokat tartalmazó hullámtérben így vannak helyek, ahol a hullámok megszűnni látszanak, illetve ahol felerősödnek. A koherens szórt hullámokat tartalmazó hullámtérre igaz, hogy az interferencia jellegzetes térbeli amplitúdó-eloszlást, interferenciaképet hoz létre. Ezen interferenciaképek intenzitás-eloszlása a szóródó hullám hullámhosszától és a rács rácsállandójától függ, így a jelenség alkalmas arra, hogy ismert hullámhossz esetén jellemezzük a rácsot. Maga a diffrakció a hullámoknak az útjukba kerülő akadályok miatt bekövetkező szóródását, elhajlását, azaz eltérését jelenti. Ebből eredően az interferenciaképnek egy másik elnevezése a diffrakciós kép.

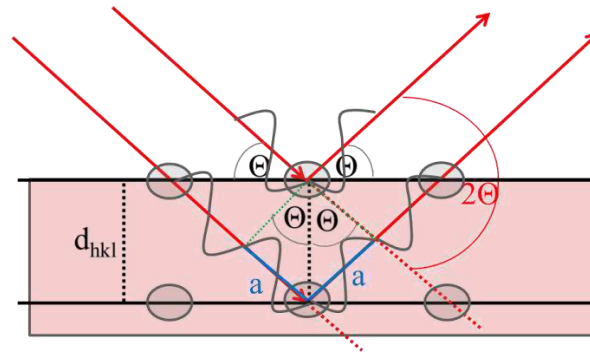
Adott rács röntgen sugárzással történő megvilágítása esetén a röntgensugár behatolva a rácsba nem csak a felület síkjából verődik vissza (24. ábra). Ilyen esetben a visszaverődő, találkozó hullámok abban az esetben erősítik egymást teljes mértékben, hogy ha (az ábrán kézzel jelölt) útkülönbségük azonos a hullámhosszuk egész számú többszörösével. Adott hullámhosszú, adott Miller indexű rács síksorozatáról visszaverődő hullámok teljes erősítésének feltételét a Bragg egyenlet írja le.

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

Mely egyenletben n : pozitív, nem zérus egész szám, λ a röntgen sugárzás hullámhossza, d_{hkl} adott hkl Miller indexű síkok rácssík-távolsága, θ a diffrakció szöge. A diffrakciós mérések során a d távolságot keressük úgy, hogy ismert λ hullámhosszúságú röntgen hullámmal besugározva a vizsgálandó felületet mérjük azt a θ szöget, amelynél a szórt sugárzásnak intenzitás maximuma van.

Adott felületi reflexióról alkotott diffrakciós kép, a különböző szögekben mért visszaverődő sugár intenzitásának mérése. Az adott szögeknél mérhető diffrakciós csúcsokból visszaszámolható a diffrakciót okozó síksorozat távolsága. Adott „ a ” rácsparaméterű kockarács tetszőleges (hkl) Miller indexű rácssíkjainak távolsága a következő összefüggésből számolható

$$d_{hkl} = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}} \quad (2)$$



24. ábra A röntgendiffrakció elvi alapja

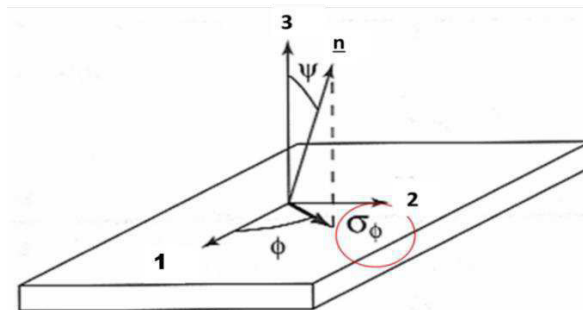
Mivel az anyagban a rugalmas maradó rácsfeszültség hatására a rácssíkok távolsága megváltozik, a rácssík távolságok megváltozásának mérésével visszaszámolható a feszültség. Tehát maradó feszültség mérésekor az adott d_{hkl} rácssík távolság változás okozta Bragg szög eltolódását mérjük.

Ha a 25. ábra szerinti elrendezésben a tengelyek metszés pontjában a σ_ϕ feszültséget szeretnénk meghatározni, annak megmérése csak transzmissziós módon lenne lehetséges, de ezt a kompakt anyag nem teszi lehetővé. Ekkor a következő módon belátható mérés technikai eljárást alkalmazunk.

Ha a test egy pontjában 1, 2 és 3 irányában ható feszültségek (25. ábra) $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$, akkor ezekben az irányokban bekövetkező elmozdulások a Rugalmassági modulus (E) és a Poisson szám (ν) ismeretében:

$$\begin{aligned}\varepsilon_1 &= \frac{1}{E} [\sigma_1 - \nu(\sigma_2 + \sigma_3)] \\ \varepsilon_2 &= \frac{1}{E} [\sigma_2 - \nu(\sigma_1 + \sigma_3)] \\ \varepsilon_3 &= \frac{1}{E} [\sigma_3 - \nu(\sigma_1 + \sigma_2)]\end{aligned}$$

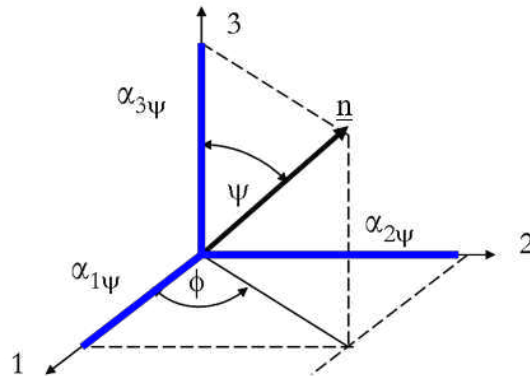
(3)

25. ábra Vázlat a σ_ϕ feszültség meghatározásához [3] [49]

Ekkor egy tetszőleges irányban ható feszültség értéke:

$$\sigma_n = \sigma_1 \alpha_{1n}^2 + \sigma_2 \alpha_{2n}^2 + \sigma_3 \alpha_{3n}^2 \quad (4)$$

Mely egyenletben a $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ főfeszültségek, $\alpha_{1n}, \alpha_{2n}, \alpha_{3n}$, pedig \underline{n} vektor irány cosinusai az 1,2,3 tengelyekre nézve a 26. ábra alapján:



26. ábra Az irány koszinuszok szemléltetése [3] [49]

$$\begin{aligned}\alpha_1 &= \sin \psi \cos \phi \\ \alpha_2 &= \sin \psi \sin \phi \\ \alpha_3 &= \cos \psi\end{aligned}\quad (5)$$

Behelyettesítve a (4) egyenletbe:

$$\sigma_\psi = \sigma_1 (\sin \psi \cos \phi)^2 + \sigma_2 (\sin \psi \sin \phi)^2 + \sigma_3 \cos^2 \psi \quad (6)$$

Adódik ekkor, ha a $\Psi=90^\circ$, meg kapjuk σ_ϕ értékét

$$\sigma_\phi = \sigma_1 \cos^2 \phi + \sigma_2 \sin^2 \phi \quad (7)$$

Az ε alakváltozásokra a (4) egyenlet analógiájára felírható

$$\varepsilon_\psi = \varepsilon_1 (\sin \psi \cos \phi)^2 + \varepsilon_2 (\sin \psi \sin \phi)^2 + \varepsilon_3 (\cos \psi)^2 \quad (8)$$

Helyettesítsünk be a (4) egyenletbe, figyelembe véve, hogy $\sigma_z = \sigma_3 = 0$

$$\varepsilon_\psi = \frac{1}{E} [(\sigma_1 - \nu \sigma_2) \cos^2 \phi \sin^2 \psi + (\sigma_2 - \nu \sigma_1) \sin^2 \phi \sin^2 \psi] + \varepsilon_3 \cos^2 \psi \quad (9)$$

Az egyenletet átrendezve, a $\sin^2 \Phi + \cos^2 \Phi = 1$ és az $\varepsilon_3 = -\frac{\nu}{E} (\sigma_1 + \sigma_2)$ összefüggéseket felhasználva

$$\varepsilon_\psi = \frac{1+\nu}{E} (\sigma_1 \cos^2 \phi + \sigma_2 \sin^2 \phi) \sin^2 \psi + \varepsilon_3 \quad (10)$$

adódik. Ha (10) egyenletbe behelyettesítjük (7)-et és átrendezzük, a

$$\sigma_{\phi} = (\varepsilon_{\psi} - \varepsilon_3) \frac{E}{(1 + \nu) \sin^2 \psi} \quad (11)$$

egyenlőség adódik. Ezzel a feladatot megoldottuk. ε_{ψ} és ε_3 mérésével σ_{ϕ} meghatározható.

$$\begin{aligned} \varepsilon_3 &= \frac{d_3 - d_0}{d_0} \\ \varepsilon_{\psi} - \varepsilon_3 &\approx \frac{d_{\psi} - d_3}{d_3} = \frac{\Delta d}{d} \end{aligned} \quad (12)$$

A (12) közelítés használatát az teszi lehetővé, hogy d_0 a d_3 -al egyenlő érték, mivel abban az irányban nem hat feszültség és ezért ebben az irányban a rács nem torzul. Ahol d_0 : az adott Miller indexű rácssík sorozat feszültség mentes állapotú rácssík távolsága. Ekkor a (10) egyenlet a következő módon írható:

$$\sigma_{\phi} = \frac{d_{\psi} - d_3}{d_3} \frac{E}{(1 + \nu) \sin^2 \psi} \quad (13)$$

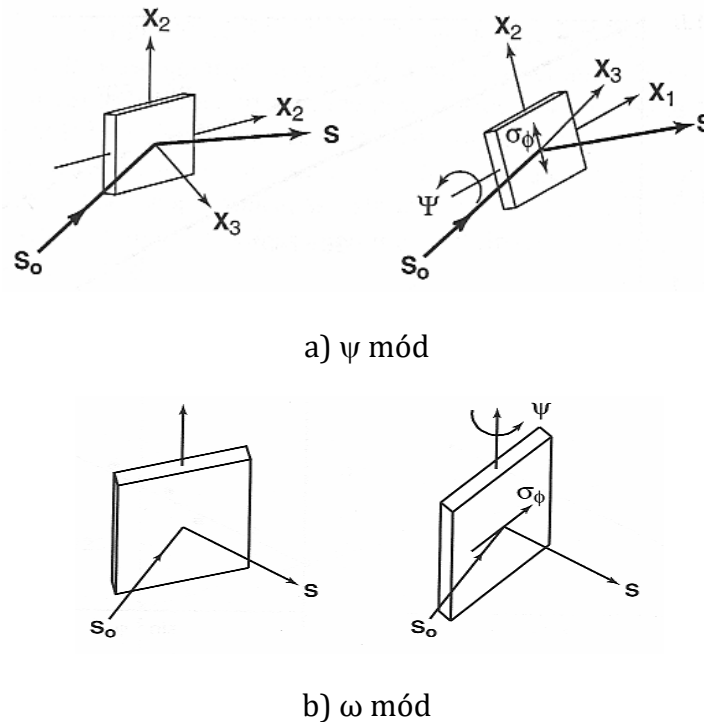
Felhasználva a Bragg egyenlet differenciális alakját

$$\frac{\Delta a}{a} = -\Delta \Theta \operatorname{ctg} \Theta \quad (14)$$

a feszültség a Bragg szög eltolódásából ebben az alakban írható fel. A levezetést folytatva σ_{ϕ} a (15) egyenlettel kifejezhető.

$$\sigma_{\phi} = \frac{E}{(1 + \nu) \sin^2 \psi} \frac{\Delta d}{d} = \frac{E}{1 + \nu} \frac{\operatorname{ctg} \Theta}{\sin^2 \psi} \Delta \Theta \quad (15)$$

A mérési gyakorlatban ehhez a következő eljárásokat alkalmazhatjuk: a röntgennel besugárzott próbatestet döntjük (ψ) vagy elforgatjuk (ω) módszer. A 27. ábra mutatja a két módszer vázlatos rajzát, ahol: S_0 a röntgensóból kilépő sugárnyaláb, S a mintáról diffraktálódó sugárnyaláb és σ_{ϕ} a meghatározható irányú feszültség. A ψ módszer esetében a döntés forgástengelye a vizsgált minta röntgennel besugárzott pontja, a sugárforrás és a detektor által kijelölt síkban fekszik, míg az ω módszer esetében a döntés tengelye erre a síkra merőleges helyzetű.



27. ábra A darab felszínével párhuzamosan, tetszőleges irányban ható maradó feszültség meghatározására használható két alaplómódszer vázlatos rajza [3] [49]

3.3. Maradó feszültség mérés központ nélküli röntgendiffraktométerrel

A maradó feszültség vizsgálatokhoz a Miskolci Egyetem, Műszaki Anyagtudományi Karának, Fémtani Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézetében működő Finomszerkezet vizsgáló laboratóriumának Stresstech Xstress 3000 G3R kifejezetten maradó feszültség mérésre kifejlesztett röntgendiffraktométerét használtam. Ez egy roncsolás mentes, a vizsgált minta felszíni rétegeire (néhány $10\mu\text{m}$ behatolási mélységben) vonatkozó, kvantitatív eredményt szolgáltató maradó feszültség mérési eljárás.

A berendezést annak telepítése és üzembe helyezése óta használom. Egyike voltam azoknak, akik a berendezés gyártója által szervezett felhasználói tréningen részt vehetett. Doktori tanulmányaim második félévében egy intenzív tízhetes szakmai gyakorlatot töltöttem a gyártó németországi telephelyének laboratóriumában, ahol elsajátítottam a berendezés karbantartási és kalibrációs munkáihoz szükséges ismereteket és ipari mérési rutint szereztem.

A berendezés egy középpont (centerless) elrendezésű célzottan maradó feszültség és maradék ausztenit meghatározására fejlesztett röntgendiffraktométer. A berendezés a centerless kiképzésnek köszönhetően alkalmas *in situ* maradó feszültség meghatározására, nincs szükség mintavételre, mint a hagyományos, többfunkciós Euler bölcsővel ellátott diffraktométerek esetében. A hagyományos elrendezésű diffraktométerek sugár forrásának és detektorának egyazon közös tengely körül és egy

síkban kell egymáshoz képest is meghatározott sebességgel szögelfordulást végezniük, miközben a vizsgálandó mintát ebbe a középpontba helyezve azt a 27. ábra által szemléltetett módok valamelyike szerint szabályozottan dönteni, elfordítani szükséges. Minden ilyen szögelfordulást nagy pontossággal kell végezni. Belátható, hogy a finommechanikával mozgatható minta mérete limitált. Az általam használt berendezés a detektor és a sugárforrás egymáshoz képesti szabályozott elmozdulásnak követelményét vonaldetektor alkalmazásával oldja fel. A rögzített szögtartomány intenzitás eloszlásának regisztrációja a vonal detektor mentén történik. A vizsgált minta mozgatása helyett pedig a goniométert (azaz a röntgenső és a detektorok együttesét) dönti a vizsgált pont felett a mérés számára szükséges pozícióba.

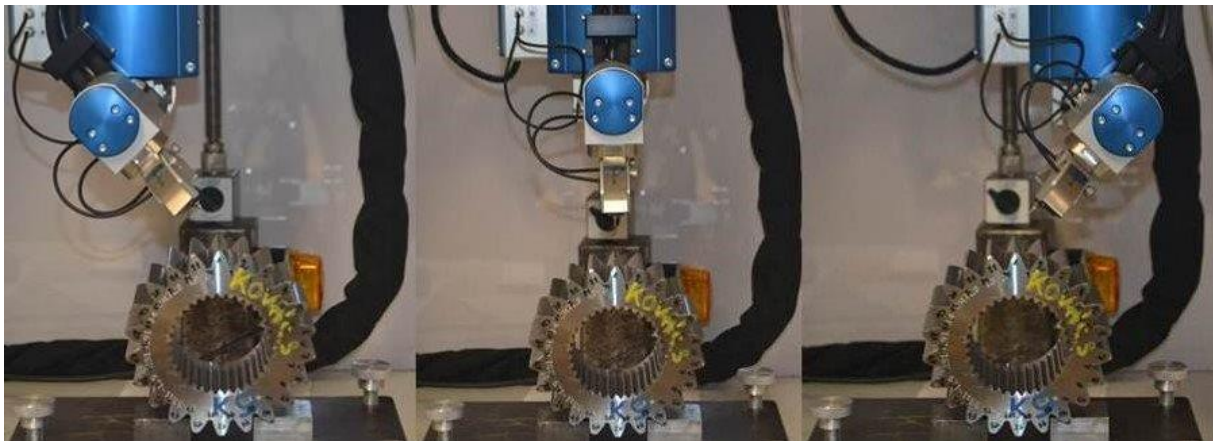
A berendezést általánosan sugárvédelmi fülkében célszerű használni, ekkor a méretkorlátokat a fizikai hely és nem a mintatartó teherbírása adja. Ha méreten felüli alkatrészen szükséges maradó feszültség meghatározást végezni a mérőberendezés a sugárvédelmi fülkéből kivéve asztalra tehető vagy állványra szerelhető. Ilyen összeállításban üzemi körülmények között is képes működni. A 28. ábra egy a Diósgyőri Vasúti Kerékpár Gyárban közreműködésemmel vizsgált vasúti tengely maradó feszültség mérésének pillanatfelvétele.

A berendezés két vonaldetektorral rendelkezik, ezzel nő a mérés megbízhatósága, valamint információ nyerhető a besugárzott térfogatrészben uralkodó nyírófeszültségről is. A berendezésben használható különböző röntgensövek behatolási mélysége néhány mikron körüli. A kölcsönhatási térfogat, vagyis az az anyagi volumen, amelyről a detektorba információ érkezik a behatolási mélység és az alkalmazott kollimátor által kialakított köralakú sugárfolt átmérőjéből adódik. Azáltal, hogy a berendezés Ψ és Ω módban is használható tovább bővül a vizsgálható alakos próbatestek köre. A Ψ mód által használt sugármenet némiképp eltér a klasszikustól, mely különbségek szoftveresen kezelhetők. A gyártó által a mérő berendezés üzemeltetésére, vezérlésére, az adatok gyűjtésére és értékelésére fejlesztett szoftverben a módosított $\sin^2\Psi$ megnevezést használja.

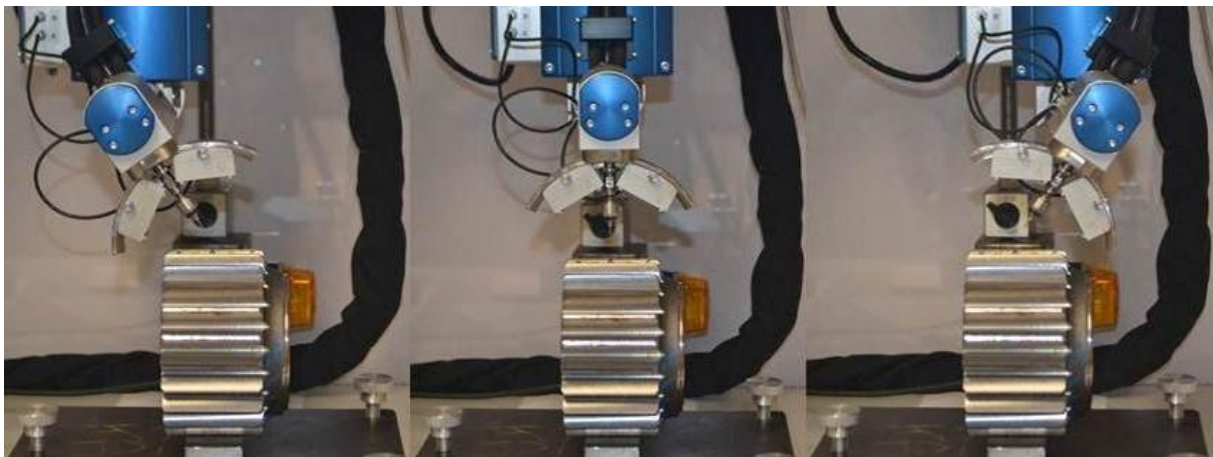


28. ábra A Stresstech G3R berendezés ipari létesítményben történő munkavégzés, állványról történő vasúti tengely mérése közben

A berendezés módosított $\sin^2 \psi$ (29. ábra) és ω (30. ábra) módban is használható. A berendezés vezérlését, mind az adatok regisztrálását és feldolgozását a gyártó által fejlesztett XTronic software végzi.



29. ábra A Stresstech G3R berendezés módosított ψ módban



30. ábra A Stresstech G3R berendezés omega módban

A berendezés három különböző sugarú (50, 75 és 100 mm) detektor tartó ívvel szerelhető fel, tehát ezen lehetőségek között variálható az alkalmazott goniométer kör nagysága. Alap esetben a legkisebb detektor tartó íveket célszerű használni, amennyiben semmilyen különös tényező nem kényszerít nagyobb ív választására. Az alkalmazott detektor tartó ív nagyságának növekedésével csökken a vonaldetektorok által rögzített szögtartomány. Ezzel együtt csökken az egyes detektor pixelekbe érkező fotonok száma, viszont nő az egységnyi felvett szögtartományba eső, adatokat rögzítő detektor pixelek száma. [50]

A berendezés automata módon fókusztávolságba emeli-süllyeszti a minta felett a goniométer kört. Ehhez a röntgensőre szerelt kollimátorral meg kell érintenie a minta felszínét, majd azt felemeli az általa kalibrált magasságba. A kalibráció során egy feszültségmentes etalonon addig közelíti az alkalmazott fókusztávolságot ahhoz a távolság értékhez, ahonnan valóban nulla feszültség érték mérhető, amíg nem kap egy adott intervallumon belüli megfelelően alacsony (pl: $\sigma_{\text{mért}}=0\pm 10\text{MPa}$) feszültség mentes állapotra jellemző eredményt. Ez az egyedi fókusztávolsági eljárás különösen alkalmassá teszi a berendezést a mélységi feszültség profil mérésekre. Ennek során egy néhány mm átmérőjű területen elektrolitos maratással leválasztjuk a felület egy rétegét. Ekkor a fókusztávolság során a kollimátor a maratási nyom, kráter mélyedésétől számítja ki a fókusztávolságot. Hagyományos diffraktométerekkel történő mérés során ekkor 'Z' irányú fókusztávolság korrekcióra van szükség.

A röntgensőre különböző besugárzott foltátmérőt megengedő kollimátorok szerelhetők fel. A kollimátorok mérete, figyelembe véve a rajtuk áthaladó sugárzás divergenciáját megközelítőleg azonos a nyaláb által bevilágított folt átmérőjével. A kollimátor méretének megválasztása alkalmazás függő. A méret csökkenésével négyzetesen csökken a detektorokba érkező reflektált sugár intenzitása. Ez nagyon megnöveli a mérés idő szükségletét. Az alkalmazott kollimátor méretének növelése pedig a diffraktált csúcsok félérték szélességének növekedését okozzák. Általános mérési probléma esetén a hármas kollimátor optimális választás, egyes egyedi esetekben más és más kollimátor alkalmazásának van létjogosultsága. [50]

A berendezés különböző antikatód minőségű röntgensövekkel is üzemeltethető úgy mint: Cr, Cu, és Mn. Ezzel a lehetőséggel kibővül a berendezés által vizsgálható alapanyagok minőségi listája.

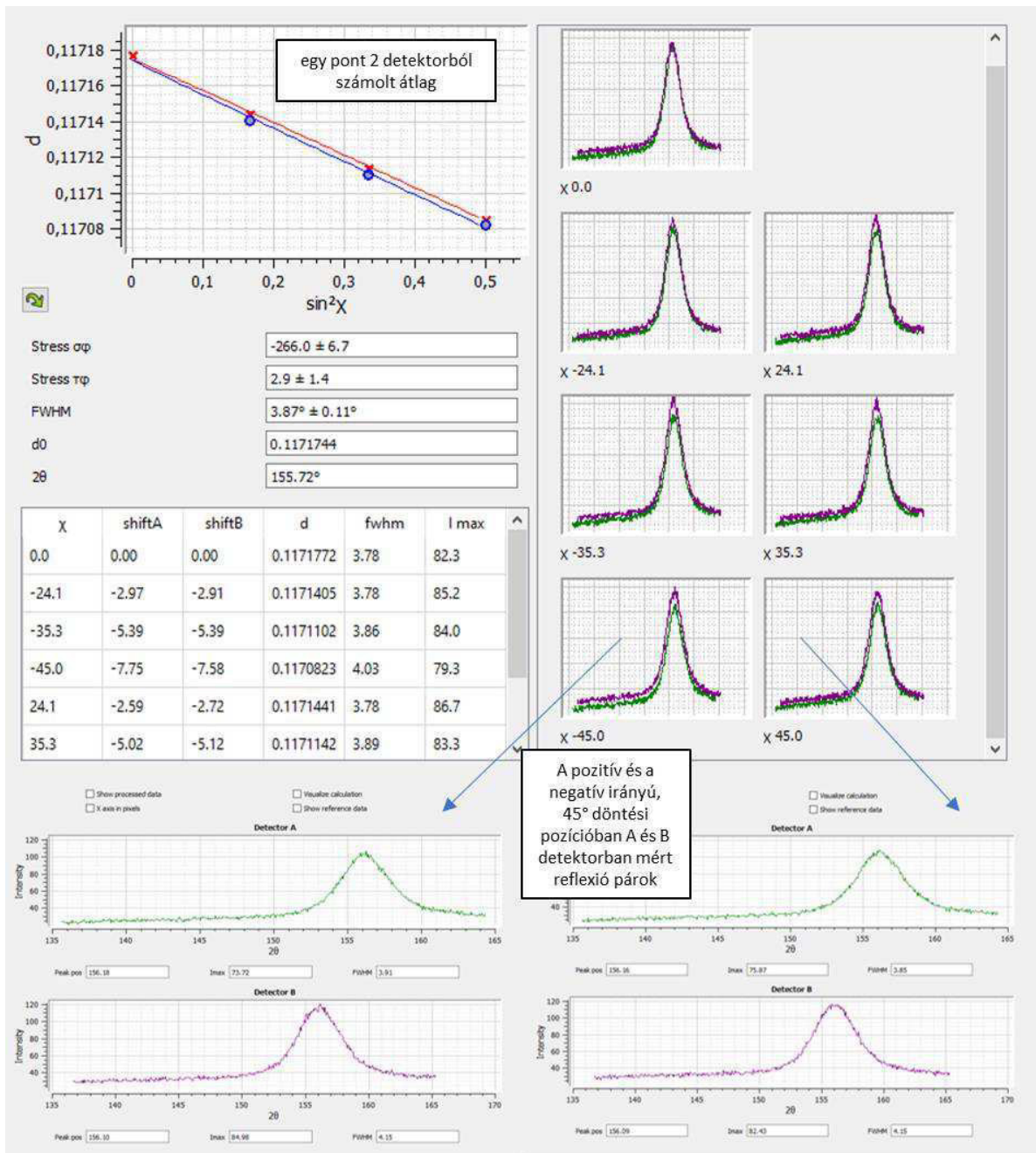
A besugárzott minta felületének adott irányban ható maradó feszültséget jellemző mérési adat a 31. ábra által bemutatott mért paraméterekből kerül kiszámításra. Az ábra bal felső sarkában találjuk a döntési azaz a Ψ szögek szinusz négyzetének függvényében ábrázolva a vizsgált, ferrit esetében a (211) Millerindexű síksorozat egyes döntési pozíciókban felvett reflexióból számolt rácssík távolságot nm-ben kifejezve. Az egyes döntési szögek négyzeteihez azért tartozik két rácssík távolság adat, mert a függőlegeshez képest mindkét irányba bedöntve is végzünk méréseket. Ezzel javul a mérés pontossága, másrésztől információt nyerünk a besugárzott térfogatban a vizsgált

irányban uralkodó csúsztató feszültség nagyságáról is. Az ábra baloldalán egy áttekintő képet kapunk az egyes döntési pozíciókban a két detektor által felvett reflexió párokról. A pozitív és negatív irányú két szélső döntés, két-két detektora által felvett jel az ábra alján látható kinagyítva. A két detektor által rögzített reflexiók csúcshelyének átlagából kerülnek kiszámításra $\sin^2 \Psi$ értékek függvényében ábrázolt d értékek. A $\sin^2 \Psi$ - d diagram pontjaira illesztett parabola (31. ábra jobbra fent; a kék körök, a negatív irányú döntésekből kalkulált d értékek a parabola egyik szára, és a piros kerestek, a pozitív irányú döntésekből számolt d értékek a parabola másik szára) szimmetria tengelyének meredeksége azonos a mért maradó feszültséggel. A maradó feszültség adat szórása az egyes döntési pozíciók d értékeinek egyenestől való eltéréséből kerül kiszámításra. A parabola nyílása a besugárzott térfogatrészben a vizsgált irányban ható csúsztató feszültségről ad információt.

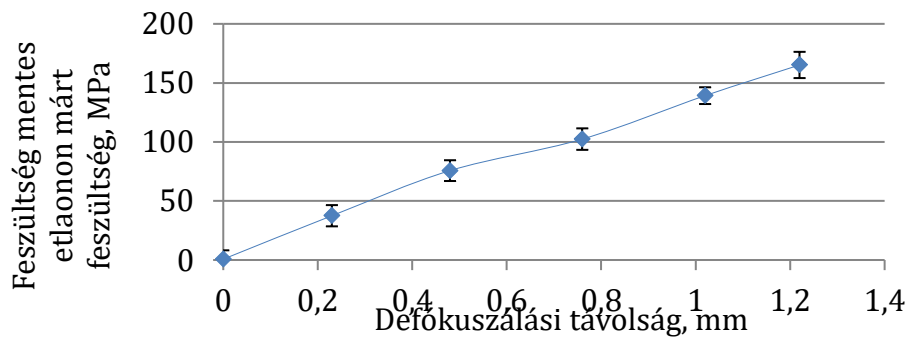
Ennek a célirányosan fejlesztett berendezés alkalmazhatóságának is vannak bizonyos korlátai melyeket célszerű áttekintenünk.

A kis görbületi sugárú felületek mérése során helytelen kollimátor választással defókuszlási hibával rontjuk a mérés hitelességét. A fókusz távolságot a berendezés letapogatás után állítja be, így csak a kollimátor csonka kúpjának, (cső kollimátor esetén csövének) metsző síkjába eső felületi pontok lesznek fókusz távolságban. A besugárzott térfogatrész fókusz pozíción kívül eséséből következő mérési hibának szemléltetésére feszültség mentes etalonon maradó feszültség méréseket történtek, olyan módon, hogy a goniométert a fókusz távolságból egyre jobban kimozdítottuk (32. ábra). A 32. ábra alapján belátható, hogy a 33. ábra által vázolt összeállításban a belső lekerekítés kollimátortól legtávolabb (0,67 mm re) eső pontjában közel 100 MPa értékkel fölé mérünk a tényleges feszültség állapotnak. Egy a 22. ábra által bemutatott görgőzött tengelycsukló vevői ellenőrző mérése során a helytelenül megválasztott kollimátor méret eredményezte azt, hogy nem teljesült az átvételi minimum feszültség érték, mely során a beszállító számára végeztem ellenőrző méréseket.

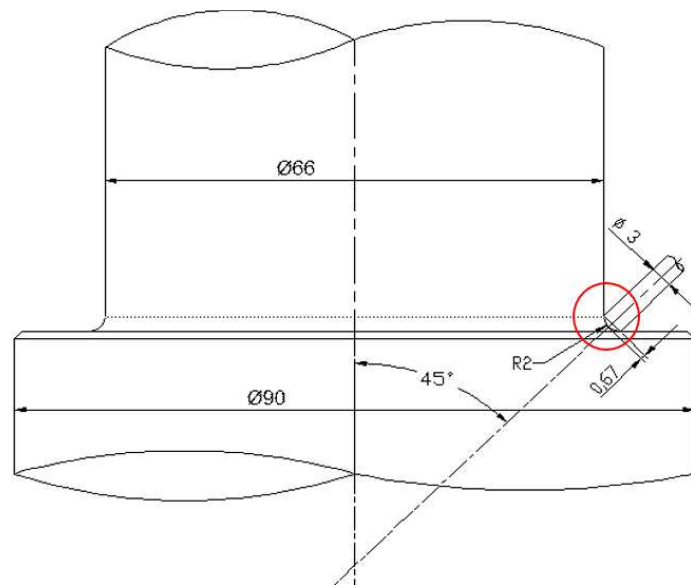
A berendezés röntgenső választékának köszönhetően alkalmas a legkülönbözőbb gyakorlati alkalmazásban előforduló fémes alapanyagok (acélok, ferrites, ötvözött és ausztenites; öntöttvas; sárgaréz; alumínium; arany; ezüst; titán) vizsgálatára. A mérhetőség feltétele, hogy a detektor tartók által meghatározott szögtartományban kapjunk értékelhető reflexiót a vizsgálni kívánt alapanyagból. A szükséges mechanikai álladók ismeretében a reflexión kirajzolódó csúcs eltolódásából a feszültség értéke számolható. [51]



31. ábra A berendezés vezérlő szoftver által gyűjtött adatok értelmezése



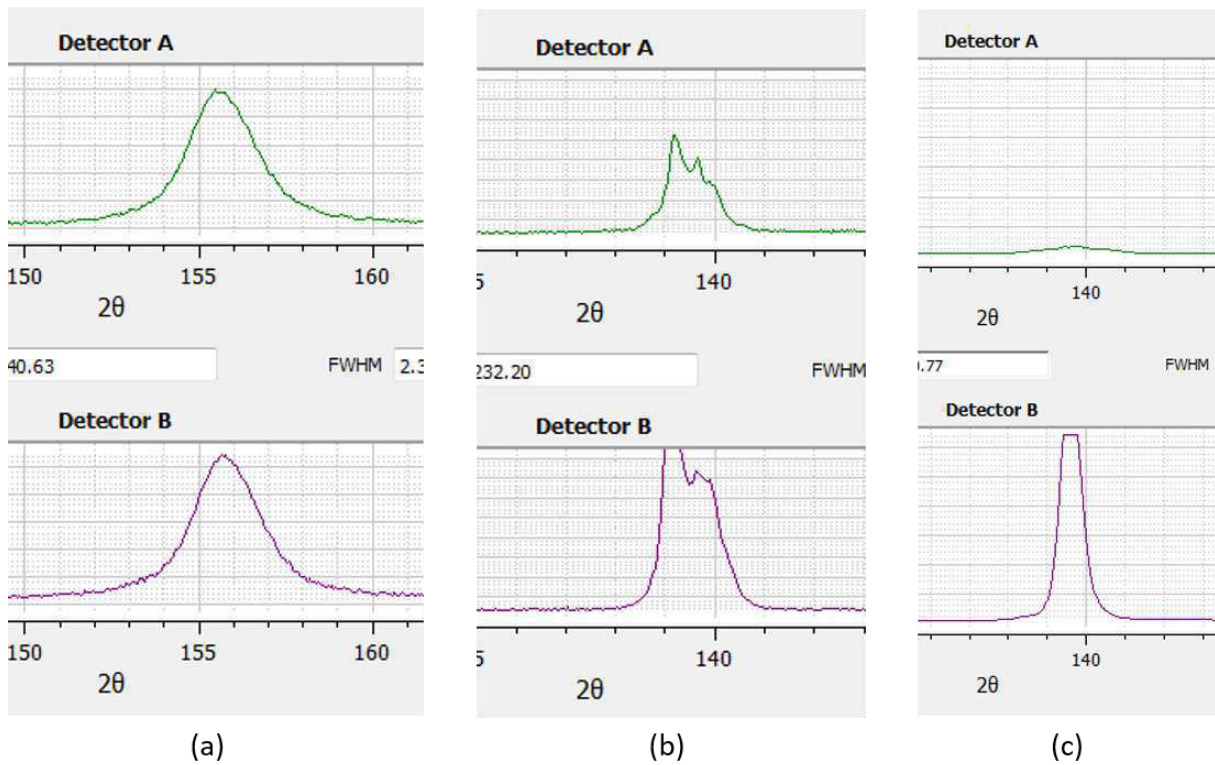
32. ábra Feszültség mentes etalonon defokuszált pozíciókban mért maradó feszültség értékek a defokuszálás függvényében (Dr. Benke Márton)



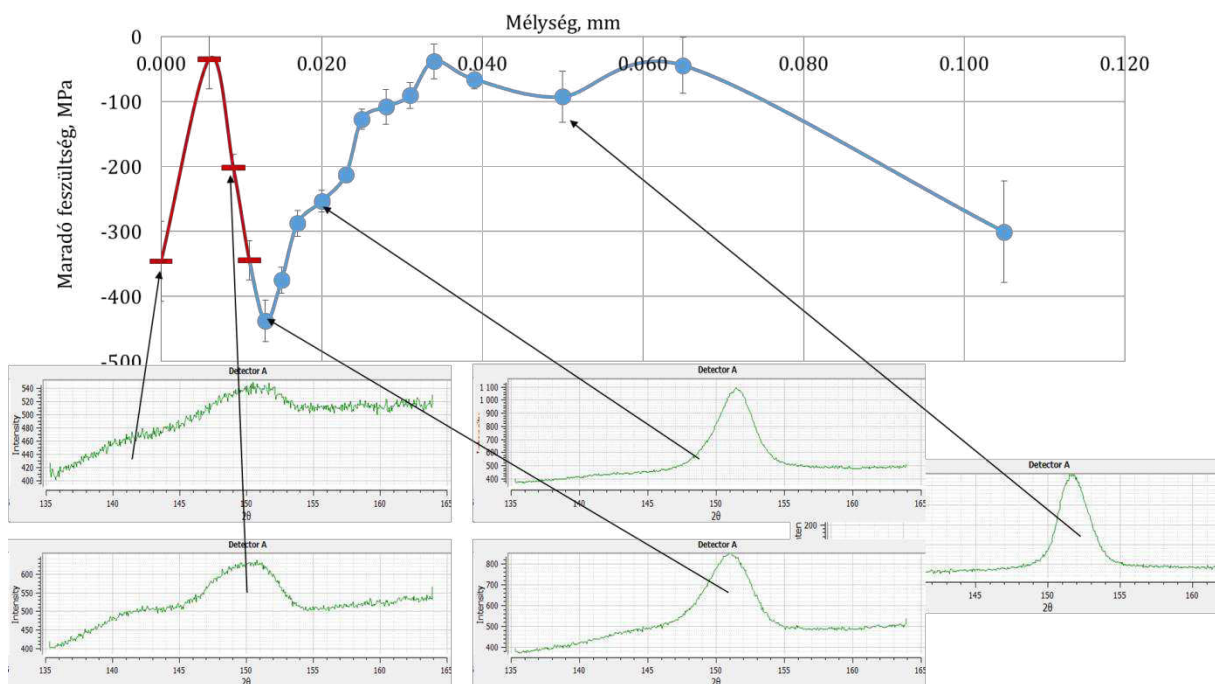
33. ábra Kis görbületi sugarú vizsgálati felülethez választott túl nagy kollimátor okozta defókusz probléma grafikus ábrázolása

Bizonyos mikroszerkezeti állapotok lehetetlenné teszik, hogy a mérés számára megfelelő minőségű csúcsokat kapjunk. A 34. ábra két detektorral három különböző mintán rögzített diffraktogramot mutat. Az egy méréshez tartozó A és B detektorral rögzített intenzitás függvények egymás alatt találhatók. Az első esetben a méréshez alkalmas diffraktogramokat láthatunk. A b esetben egy durva szerkezetű öntvényen felvett felszakadozott reflexió pár látható. A felszakadozást a durva szerkezet okozza. Az intenzitás Gauss eloszlástól való eltéréseinek magyarázata, hogy egyes irányokban a besugárzott térfogat részben nem található reflexió szórására alkalmas orientációban lévő szemcse. A C jelölésű intenzitás függvény pár közötti különbség oka pedig az alapanyag textúrával való terheltségére vezethető vissza. Az A detektoron azért nem realizálódik a B-vel regisztrálthoz hasonló görbe, mert itt bár elég finom a szerkezet (hiszen a B detektor egy keskeny gauss eloszlást mér, melynek maximuma nem is fér rá az ábrázolt függvény területre) ám a besugárzott térfogatrészben nem találhatóak az A detektor irányába reflexiót adni képes szemcsék.

Számításhoz alkalmatlan reflexiót okozhat még a felület szennyezettsége, oxidációja ötvözöttsége; festék, reze, nitridált réteg. A 35. ábra egy nitridált felület mélység profilját mutatja néhány különböző mélységben mért reflexióval együtt láttatva. Megfigyelhető, hogy 0,01 mm mélységben, még nem kapunk a háttérről jól leválasztható, keskeny használható csúcsot. Habár vezérlő szoftver ilyen esetekben is ad maradó feszültség értéket, ezt a reflexiók ismeretében kritikusán kell kezelnünk. A felületen mért diffraktogramon, a várt reflexió környezetében egy a háttértől alig megkülönböztethető széles csúcs található. Nem zárhatjuk ki, hogy a csúcs kiszélesedését egy esetleges intermetallikus fázis csúcsának a ferrit csúccsal való összeesés okozza, meghamisítva ezzel a mérési eredményt. Ebből következően a felület közeli rétegekben mért feszültség adat nem elfogadható.



34. ábra A mikroszerkezet hatása a röntgendiffraktogramra; a) mérésre alkalmas alapanyag, b) durva szemcsés alapanyag, c) textúrárt alapanyag.

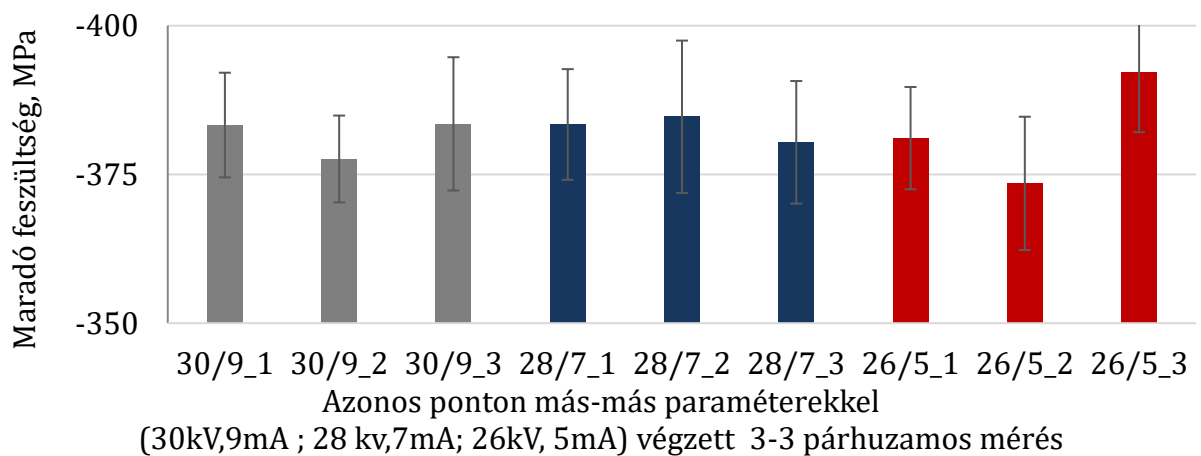


35. ábra Nitridált felületen mért mélységi maradó feszültség profil. A mélység profil egyes pontjainál bemutatva a mért diffrakciós csúcsot

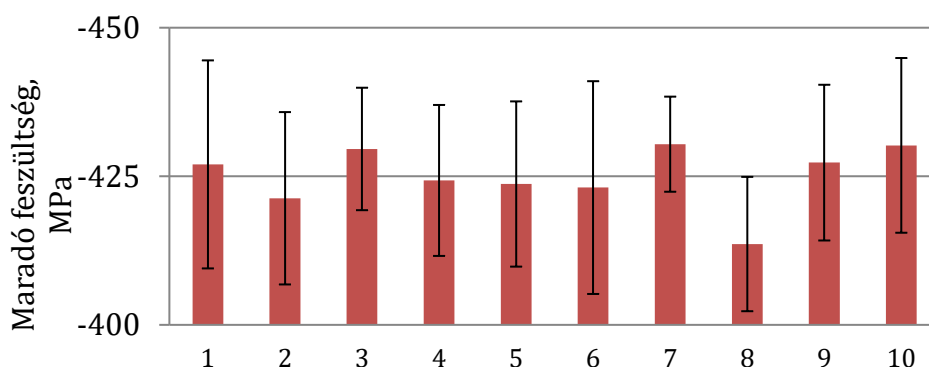
A gyűjtési időnek optimuma a kapott diffrakciós csúcs intenzitás maximumából számolható. Az Xtronic software által regisztrált adatokból kalkulált intenzitás maximumának meg kell haladnia a hatvan CPS-t azaz másodpercenkénti beütésszámot.

Az intenzitás maximum ezt a küszöbértéket meghaladva már jól elkülöníthető a háttérsugárzástól és a regisztrált görbe is zajmentes. Az expozíciós idő, s így az intenzitás maximumának növelésével fokozottan és szükségtelenül igénybe vesszük és roncsoljuk a detektorokat. Az expozíciós idő csökkentésére lehetőségünk van a primer röntgen sugárzás intenzitásának növelésével. A primer röntgen sugárzás intenzitása növelhető az antikatódra bocsájtott elektronsugárzás áramerősségének és az ezt gyorsító feszültség értékének növelésével. Az áramerősség és a gyorsító feszültség nagysága nem befolyásolja a mért maradó feszültség értékét, csak a méréshez szükséges expozíciós időt. A 36. ábra a gerjesztő feszültség és az áramerősség maradó feszültség értékére gyakorolt semleges hatását szemlélteti. Szemcseszóró próbatest felszínének ugyanazon pontján többször csökkenő áramerősség és gyorsító feszültség értékek mellett mért értékek között eltérés nem tapasztalható.

A mérési módszer megismételhetőségének jellemzésére változatlan mérési paraméterekkel a próbatest megmozdítása nélkül tízszer ismétlem meg a maradó feszültség mérést, melynek eredményeit a 37. ábra mutatja be.



36. ábra A cső gerjesztésére használt áram erősségének és az alkalmazott gyorsító feszültségnek a mért maradó feszültség értékére gyakorolt hatása



37. ábra Szemcseszóró próbatest azonos pontján, azonos paraméterekkel, végzett megismételhetőségi vizsgálatok eredményei

4. MARADÓ FESZÜLTÉG RELAXÁCIÓJA

Amikor maradó feszültséggel erősítünk egy alkatrészt, tudni szeretnénk, hogy az anyagba betáplált tartalék jótékony hatására meddig és milyen mértékben számíthatunk. A maradó feszültség tartalom, fárasztó igénybevétel közben való viselkedésének tanulmányozása felgyorsult az elmúlt két évtizedben. Folyamatosan bővül a témában fellelhető szakirodalmi ismeretek és természetesen ezzel együtt a tudományos közlemények száma.

A maradó feszültség fárasztó igénybevétel közbeni relaxációjára a kiinduló feszültség állapot, a minta szilárdsága, a fáradási feszültség szint és betáplált ciklusminta gyakorol kulcsfontosságú hatást. [52] Ezen felül a környezeti hőmérséklet [53] [54] [55] és az alapanyag minősége is kiemelkedően fontos. Számos eltérő ötvözetű minőség, eltérő mikroszerkezeti állapotban leírt eredményei fellelhetők az irodalomban. A legnagyobb tömegben acél [56], [57] és kisebb számban alumínium próbatestek maradó feszültség stabilitását vizsgáló közlemények találhatók [58], [59].

Található olyan különleges anyagok feszültség relaxációjának leírásával foglalkozó tanulmány, amely pl.: magnézium alkatrészek elektromos impulzus hatására bekövetkező mechanikai deformációval járó feszültség relaxációját elemzi [60], vagy szuper ötvözetek maradó feszültség relaxációjának hőmérséklet függését vizsgálja [61].

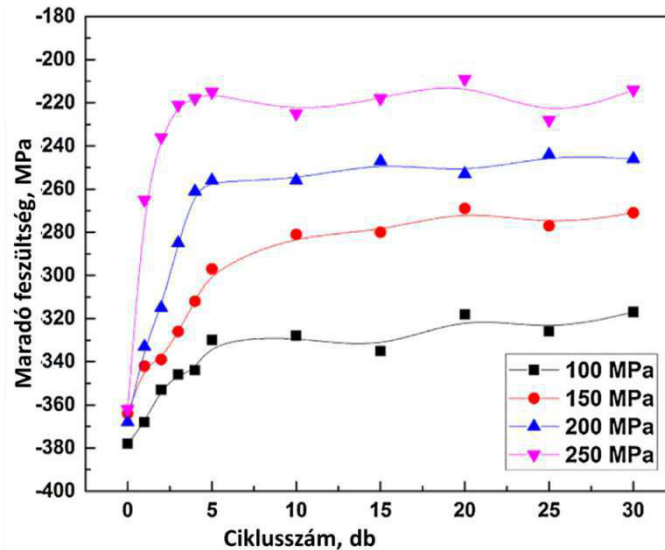
A maradó feszültség mechanikai igénybevétel, emelt hőmérséklet vagy akár az említett ismétlődő elektromos impulzus hatására bekövetkező relaxációja, az azt kiváltó ciklus szám vagy az emelt hőmérsékleten eltöltött időben ábrázolt függvényein közös jellemzőként jelentkezik, hogy a relaxáció az azt kiváltó hatás kezdetén a leggyorsabb. Az egységnyi ciklusra, vagy adott hőmérsékleten időegységre eső relaxáció mértéke az igénybevétel kezdeti ciklusai alatt, időpillanataiban a legnagyobb, a mechanikai illetve hő terhelés előre haladásával a további relaxáció sebessége folyamatosan csökken (38. ábra; 39. ábra; 40. ábra; 41. ábra; 42. ábra). [62] [63] [64] [65] [66]

A maradó feszültség fárasztó igénybevétel közbeni viselkedését előre jelezni képes általános érvényű leírás még nem született. A lehetséges változók és a gyakorlatban alkalmazható próbatestek típusainak (húzó nyomó vagy 3 ill. 4 pontos hajlító; körszimmetrikus, kvadratikus vagy lemez; öntött, forgácsolt hegesztett) száma nagy. A szabványosítás még nem fejeződött be a területen.

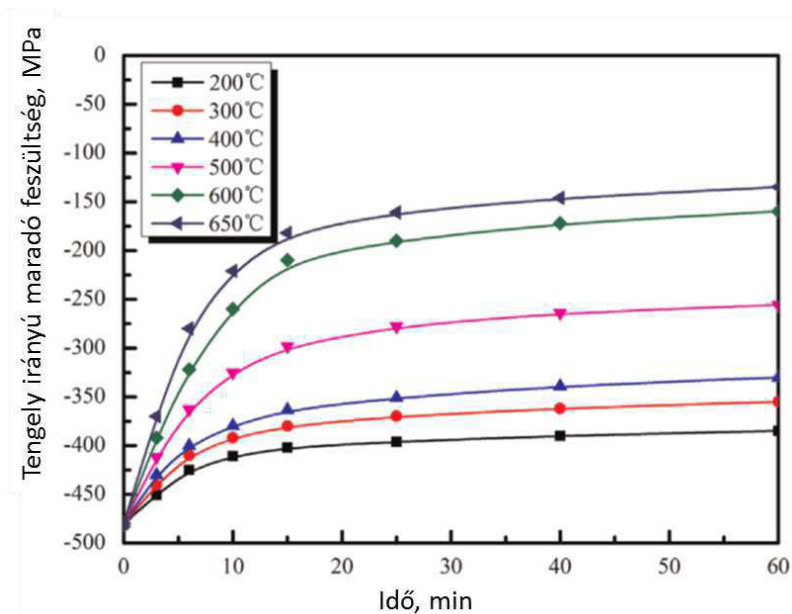
A fellelhető maradó feszültség fárasztó igénybevétel közbeni stabilitását vizsgáló munkák nem adnak általánosan tetszőleges anyagminőség, fárasztási feszültség szint és szakító szilárdság hányados esetén használható leírást a maradó feszültség üzem közbeni relaxációjának leírására, azok kiterjeszhetősége nem garantált.

A 42. ábra, 43. ábra és 44. ábra bemutatja mikroötvözött, lágyított közepes karbon tartalmú, ausztenites korrózióálló és perlites acélok maradó feszültség stabilitását, változatos fárasztási feszültség szint illetve betáplált ciklus szám paraméterek mellett.

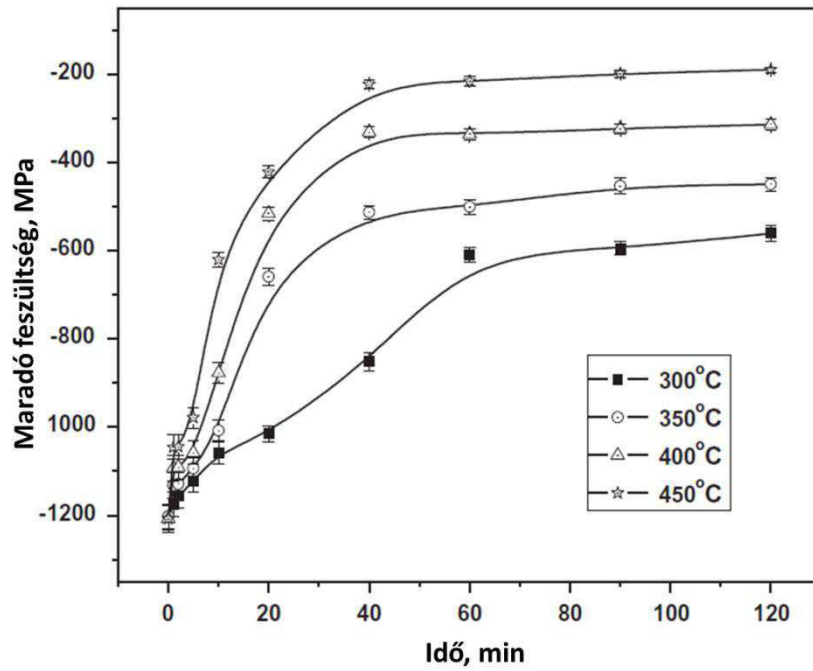
Nemesíthető, nemesített állapotú acélok ciklikus igénybevétel közbeni maradó nyomó feszültség tartó képességéről nem találunk irodalmi adatokat, pedig a maradó nyomfeszültséggel erősített gépalkatrészek, tengelyek, fogaskerekek egyik jellemző alapanyag családja épp a nemesíthető acélok.



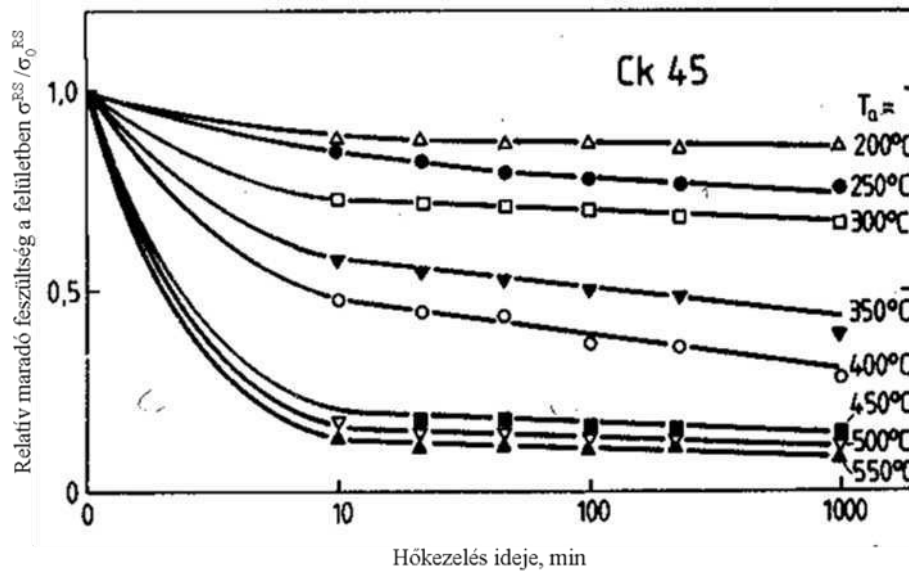
38. ábra Szemcseszórt nikkel alumínium bronz próbatestek maradó feszültség állapotának relaxációja különböző fárasztási feszültség szinteken [62]



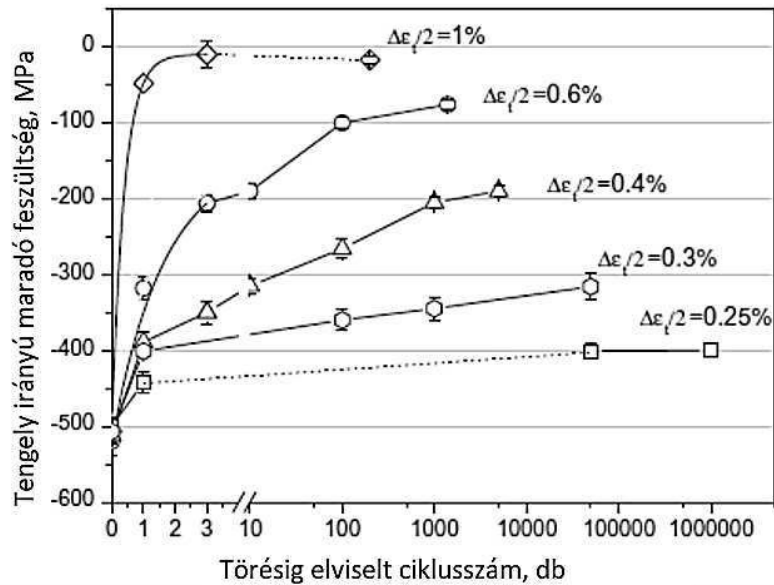
39. ábra Lézer sokkolt GH2036 acél ötvözet maradó feszültség állapotának relaxációja emelt hőmérsékleten [63]



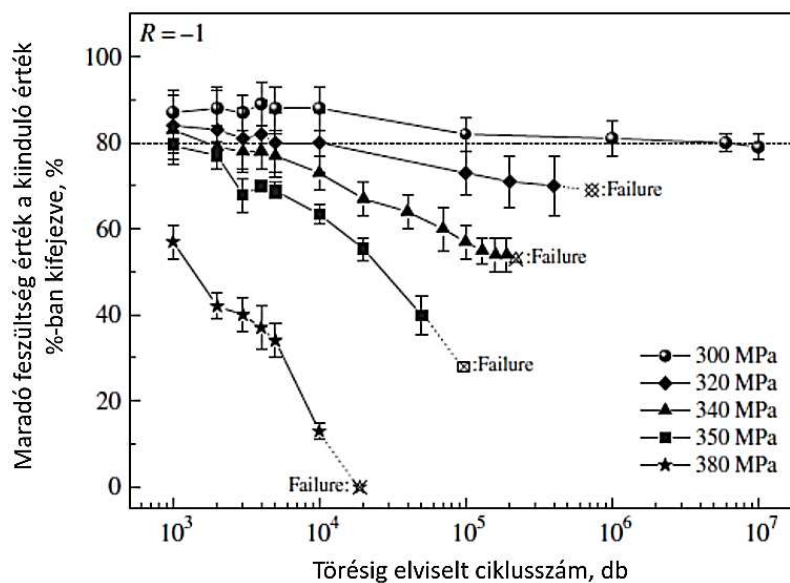
40. ábra Szemcse szórt 18CrNiMo7-6 GH2036 acél ötvözet maradó feszültség állapotának relaxációja emelt hőmérsékleten [64]



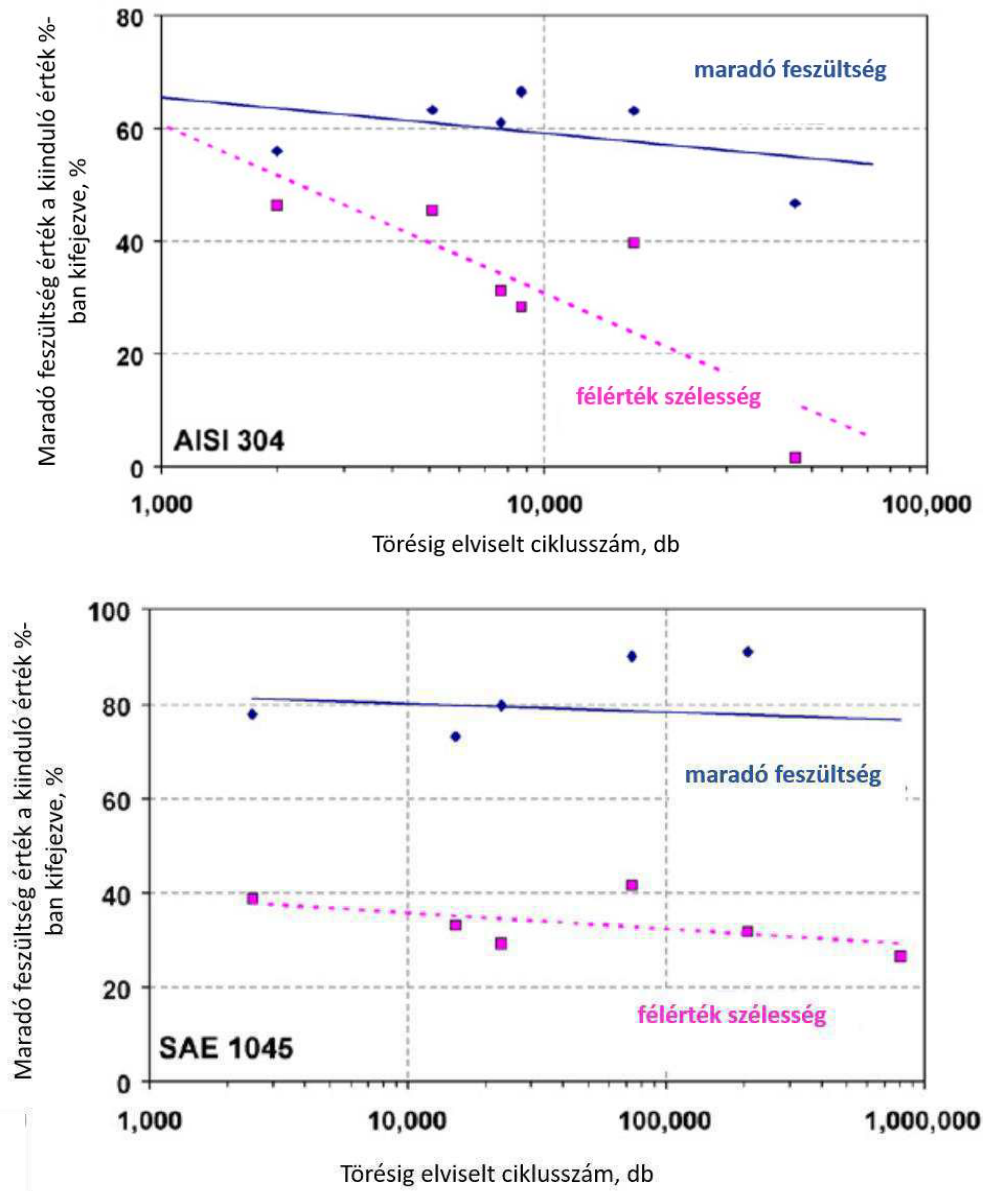
41. ábra lágítás hőmérsékletének, és hőkezelés idejének hatása a Ck45 (EN szabvány szerint C45E) felületen mérhető maradó feszültség értékére [65]



42. ábra A maradó feszültség értékének változása mikroötvözött acél, forgó-hajlító próbatestekben $\varepsilon/2=0,25; 0,3; 0,4; 0,6$ és 1% alakváltozást okozó fárasztó feszültséggel történő megterhelés közben. [66]



43. ábra A maradó feszültség változása lágyított közepes karbon tartalmú acél forgó-hajlító próbatestekben 300; 320; 340; 350; 380 Mpa fárasztó feszültséggel történő megterhelés közben [67] [68]



44. ábra AISI 304 típusú (EN 1.4301) ausztenites korrózióálló és SAE 1045 (EN C45E) típusú perlités acélokból készített görgőzött próbatestek maradó feszültség értékének fárasztó igénybevétel közbeni változása [69]

5. CÉLKITŰZÉS, KUTATÁSI TERV

A bemutatott összefoglalóból kitűnik a maradó feszültség jelentősége, a direkt maradó nyomó feszültség létrehozására irányuló technológiák gyakorlati alkalmazása, illetve a maradó feszültségállapot mind teljesebb mérésére irányuló elvárások aktualitása.

Egyértelműen kijelenthetjük, hogy a roncsolásmentes röntgendiffrakciós vizsgálati módszer központ nélküli röntgendiffraktométerrel egy korszerű, gyors vizsgálati eljárást jelent, de számos anyagszerkezeti ismeret szükséges a mérési eredmények helyes interpretálásához.

Belátható, hogy járműipari alkatrészeinek élettartam növelésének érdekében létrehozott a maradó nyomó feszültség létrehozásával kapcsolatban felmerül az igény a feszültség tartalom gyártás és üzem közbeni stabilitásának ismeretére. Maradó nyomó feszültség létrehozása a gyártási sorba integrálva már egy gyakori művelet (szemcseszórás, betétedzés) de az azt követő technológiai lépések hatásának kezelése (pl. furatmegmunkálás) tapasztalati úton szerzett ismeretekre alapozott jelenség kezelés csupán.

Számos járműipari alkatrész működése során jellemzően fárasztó igénybevételnek van kitéve, ezzel szemben kell ellenálló legyen. Ezen alkatrészek többségében nemesített állapotúak és jellemzően forgó-hajlító igénybevételnek vannak kitéve. A maradó feszültség igénybevétel közbeni változására, relaxációjára található az irodalomban kutatási eredmények, de ezek nem nemesített állapotra vonatkoznak.

Annak ellenére, hogy a tématerület az utóbbi néhány tíz évben egyre nagyobb jelentőséggel bír, és intenzíven kutatott terület, mint ahogy ezt a téma kiemelkedő szakmai nemzetközi konferenciáin részvevőként és előadóként tapasztalhattam (ECSR European Conference on Residual Stresses Troyes Franciaország, 2014- ICRS International Conference on Residual Stresses Sydney Ausztrália, 2016, Fracture Fatigue, and Wear, Porto, Portugália, 2017), mégis számtalan nyitott kérdés vetődik még fel.

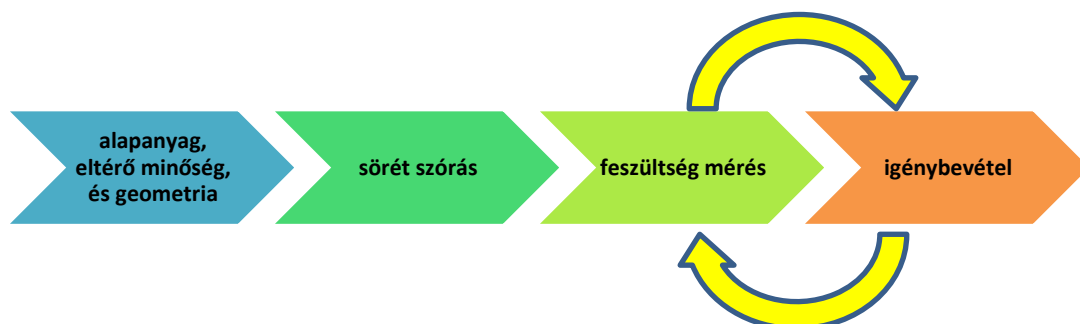
Kutatómunkám célkitűzése során ezért a következő, kérdésekre kerestem a választ:

- Melyik az a vizsgálati módszer melynek alkalmazásával a maradó feszültség fárasztás közbeni változása monitorozható?
- Hogyan befolyásolja a felületi direkt maradó nyomó feszültségállapotot az alkatrészek további megmunkálása? Az ilyen módon létrejövő spontán feszültség változásra mely paraméterek vannak hatással?
- Melyek azok a körülmények, amelyek a nemesített acél alkatrészekben létrehozott felületi maradó nyomó feszültség relaxációját, változását befolyásolják és milyen mértékben?
- Milyen mértékű és jellegű változás zajlik nemesített alkatrészek felületi maradó nyomó feszültségállapotában a tönkremenetel bekövetkezése előtt?
- Lehet e feszültségállapot változásából a tönkremenetel kialakulásának helyére és idejére következtetni?

Összeségében kutatómunkám eredményével szeretnék hozzájárulni a fáradásos tönkremeneteli folyamatban, a maradó nyomó feszültségállapot szerepéről meglévő eddigi ismereteink kvantitatív bővítéséhez, az alkatrészek gyártástervezésének élettartam növelése érdekében megvalósított optimalizáláshoz.

A célkitűzések elérése érdekében a következő kísérlettervet állítottam össze (45. ábra):

- Különböző összetételű és geometriájú acél próbatesteken szemcseszórással felületi maradó nyomó feszültséget hoztam létre.
- Ezt követően a próbatesteket különböző igénybevételeknek tettem ki és közben roncsolásmentes röntgendiffrakciós mérési technikával monitoroztam az alkatrészben végbemenő maradó feszültség változását. A nemesített próbatestek fárasztó vizsgálata közben különböző fárasztási feszültség szinteket használtam, vizsgálva azok nagyságának hatását a maradó feszültség változási folyamatokra. A fárasztást adott ciklusszám bevitele után megszakítottam és meghatároztam a próbadarabok felületi pontjain a feszültség változását. Ezt követően tovább folytattam a fárasztást. Ezt a fárasztás -feszültségmonitorozás ciklust a darab eltöréséig folytattam.
- A tönkremenetelt okozó repedés közvetlen környezetében bekövetkező feszültségváltozás monitorozására bemetszett próbatestekkel végzett fárasztásokat végeztem.
- Az igénybevétel megválasztásánál a legfontosabbra a fáradásra koncentráltam, de végeztem in situ statikus igénybevételi vizsgálatokat is különböző összetételű lapos próbatesteken, melyek nem adtak új eredményeket ezért ezekkel kapcsolatosan nem fogalmaztam meg téziseket és nem szerepeltetem az eredményeket a dolgozatban sem.
- A statikus vizsgálatok előkészítése során az ipari gyakorlatban alkalmazott Almen teszthez hasonló vizsgálatokat végeztem. Kényszerített befogóban végeztem a szemcseszórást, megállapítottam a létrejött feszültségállapotot, majd a befogóból felszabadítva a próbatesteket megvizsgáltam a makroszkópikus deformáció és feszültségállapot változások közti kapcsolatot. Itt a célom az volt, hogy az Almen teszt mérőszámain alapuló makroszkópikus deformációhoz számszerűsített feszültség adatokat rendeljek. Ez a fajta vizsgálati módszer másrészt jól modellezi a szemcseszórta alkatrész további forgácsoló megmunkálása során megbontott feszültségállapotban bekövetkező változásokat, illetve azok hatását.



45. ábra Kísérleti módszer

Az elvégzett vizsgálatokról az 1. táblázat ad összefoglalást.

1. táblázat Kísérleti terv

alapanyag	próbatestek	vizsgálatok
EN 42CRMO4 (nemesített, nemesíthető acél)	módosított fárasztó: 15db 7x7 mm-es kvadrátikus, 4db 5x5 mm-es kvadrátikus, 2db 5x5 mm-es kvadrátikus, bemetszett lemez (3x20x100 mm)	<ul style="list-style-type: none"> • szakítóvizsgálat • fárasztó igénybevétel közbeni maradó feszültség monitorozás, • 3D letapogató • kényszerített és felszabadított állapotú feszültség térképezés • 4 pontos statikus hajlítás közbeni feszültség monitorozás
~MIL-A 46100 ! Egyedi gyártás (mikroötvözött, nagy szilárdságú acél)	lemez (3x20x100 mm)	<ul style="list-style-type: none"> • szakítóvizsgálat • 3D letapogató • kényszerített és felszabadított állapotú feszültség térképezés • 4 pontos statikus hajlítás közbeni feszültség monitorozás
X6CrNiMoTi17-12-2 (K035, ausztenites korrózióálló acél)	lemez (3x20x100 mm)	<ul style="list-style-type: none"> • 3D letapogató • kényszerített és felszabadított állapotú feszültség térképezés • 4 pontos statikus hajlítás közbeni feszültség monitorozás

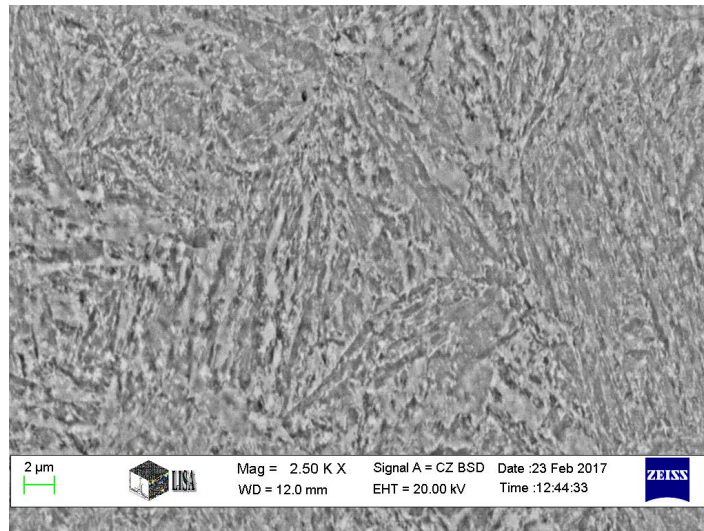
6. VIZSGÁLT ÖTVÖZETEK ÉS VIZSGÁLATI MÓDSZEREK

Valós körülmények között üzemelő gépelemeink reális terhelését statikus, ciklikus és dinamikus igénybevételek összessége alkotja. Vizsgálataim során maradó nyomó feszültség tartalommal bíró próbatesteket tettem ki statikus igénybevételnek, spontán alakváltozásnak, valamint ciklikus igénybevételnek és közben monitoroztam a maradó feszültség stabilitását.

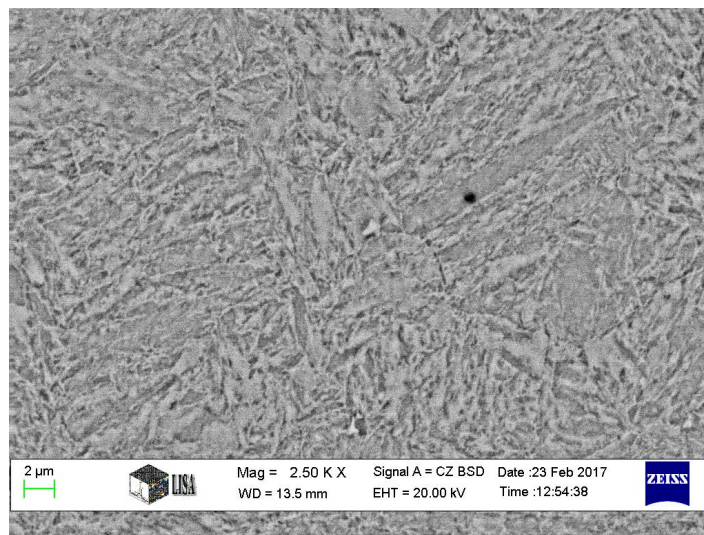
Statikus igénybevétel és spontán alakváltozás közbeni feszültség monitorozási vizsgálataimhoz három különböző anyagminőségű próbatestet használtam. Nemesíthető 42CrMo4, egy egyedi fejlesztésű és gyártású mikroötvözött nagy szilárdságú acél, melynek mikroszondás összetétel elemzése a MIL-A 46100 ötvözzel mutat a legnagyobb hasonlóságot és ausztenites saválló acél X6CrNiMoTi17-12-2 próbatesteket használtam. Ciklikus igénybevétel közbeni maradó feszültség monitorozást már csak a nemesíthető 42CrMo4 minőségű alapanyagon végeztem. Vizsgálataim során használt anyagminőségek szabványos összetételét az 2. táblázat tartalmazza.

A statikus hajlító igénybevételhez és spontán alakváltozás közbeni maradó feszültség monitorozási vizsgálataimhoz alkalmas próbatest 20x3 mm keresztmetszetű legalább 100 mm hosszú lemez. A 42CrMo4 próbatestek alapanyaga hengerelt köracél, melyet forgácsolás után nemesítettem. Az ausztenitesítő izzítás során gondot fordítottam arra, hogy a felületi karbon kiégésének lehetőségét minimalizáljam. A próbatesteket öntöttvas forgácsba ágyazva, 950 C°-os kemence hőmérséklet mellett húsz perces hőntartással ausztenitesítettem. Az edzéshez olajat használtam, a megeresztést 600 C°-os kemence hőmérséklet mellett, félórás hőntartással végeztem, a darabokat a kemencéből való kivétel után nyugvó levegőn hűtve. Az X6CrNiMoTi17-12-2 acél kereskedelmi forgalomban rendelkezésre állt, melegen hengerelt formában a kívánt keresztmetszetben, így azt csak méretre vágtam. A MIL-A 46100 acél a kívánt vastagságnál nagyobb vastagságú táblában állt rendelkezésemre ebből szintén forgácsolással, ill. köszörüléssel kellett próbatestet előállítanom.

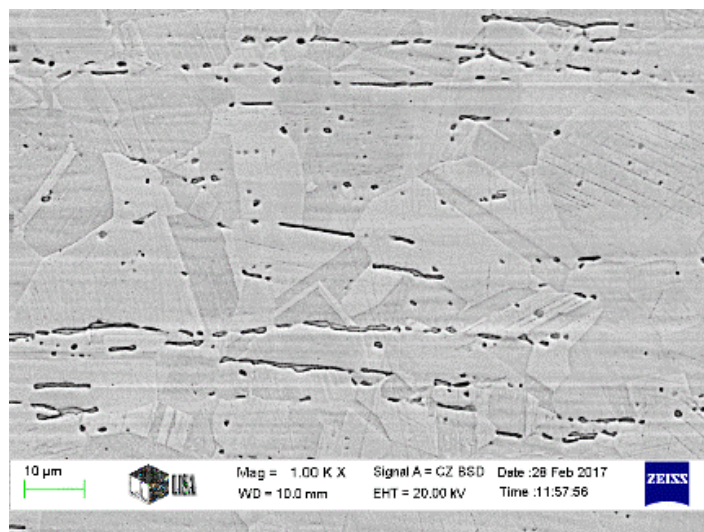
A vizsgált ötvözetek szilárdsági tulajdonságait a 3. táblázat tartalmazza. A 42CrMo4 próbatestek alapanyagából három szakító próbatestet készítettem és elszakítva kiértékeltem azokat, a MIL-A 46100 minőségű acélból rendelkezésemre állt egy 7 db próbatesttel végzett szakító szilárdság mérési jegyzőkönyv. A szakító vizsgálat a ME-MAK-FKNI- Mechanikai Anyagvizsgáló Laboratóriumának Instron típusú szakító berendezésével történt. A 42CrMo4 és a MIL-A 46100 minőségű próbatestek esetében saját szakító kísérletekből számítottam a megadott értékeket. Az X6CrNiMoTi17-12-2 esetében irodalmi adatokat adtam meg. A vizsgált ötvözetek mikroszerkezetének pásztázó elektronmikroszkópos felvételét 46. ábra, a 47. ábra és az 48. ábra mutatja be. A 42CrMo4 és a MIL-A 46100 próbatestek megeresztett martenzit szövetszerkezetet mutatnak, az X6CrNiMoTi17-12-2 acél melegen alakított újrakristályosodott szerkezet, melyben sorosan rendeződött második fázis található.



46. ábra A 42CrMO4 minőségű próbatétel mikroszerkezeti képe, SEM felvétel



47. ábra MIL-A 46100 minőségű próbatétel mikroszerkezeti képe, SEM felvétel



48. ábra X6CrNiMoTi17-12-2 minőségű próbatétel mikroszerkezeti képe, SEM felvétel

Mindhárom anyagminőségből két-két lemez próbatestet készítettem, melyek előkészítésének befejező művelete azok szemcseszórása volt.

A próbatestek felszínének szemcseszórás előtti maradó feszültség állapota megfelelt azok szórás előtti utolsó előkészítési munkafázisuk jellemző maradó feszültség állapotának. A 42CrMo4 próbatestek közel feszültség mentesek voltak, amely a megeresztés utáni nyugvó levegőn való hűtésnek köszönhető. A MIL-A 46100 próbatesteket nagyobb vastagságú táblából alakítottam ki. A kívánt vastagság eléréséhez a darabok mindkét oldalát köszörültettem. Ebben az állapotban a felületen mérhető feszültség értékek nem haladták meg a -100 MPa értéket és nyomó jellegűek voltak. A X6CrNiMoTi17-12-2 lemezek szintén közel feszültség mentes állapotúak voltak.

A szemcseszórást a Rába Járműipari Holding Nyrt.-ben végezték el számomra. A próbatesteket egy az Almen próbával hasonló, de annál hosszabb befogóba helyeztem azokat négy csavarral leszorítva. A befogókat egy, az üzemben gyártott tehergépjármű tengelytestére hegesztve helyezték a szemcseszóró kamrába (49. ábra). A szórási paraméterek a tengelytest szórásához optimalizálva kerültek beállításra. Kérésemre megmérték és dokumentálták a kezelés körülményeinek paramétereit, melyek a következők voltak: A szórás egy három kerekes WMKD-3 típusú berendezésben történt. A kerekek átmérője 350 mm, forgási sebessége 2800 1/min. A mintatartóba helyezett próbatesteket 3X3 percig verették. A szóró egységek (3db kerék) áramfelvétele: 28A, 26A, 28A-volt. A szóráshoz 4 óráig kondicionált 1,8 mm átmérőjű, 1,8 mm hosszra darabolt, 430 HV keménységű huzalt használtak. A szórás lefedettsége minimum 150% volt. A szemcsék átlagos sebessége mikor elhagyták a szóró kereket 55 m/s. Így a szórással átlagosan 117 J/mm² energiát vittünk a felületbe. A szóró kerekek szórási teljesítménye 252 kg/min volt. A próbatestek a szórás közben egy merev tengelytesthez fixáltan voltak elhelyezve.

2. táblázat Vizsgált ötvözetek szabványos összetételei, m/m%

Ötvöző	C	P	S	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Ti
EN 42CrMo4	0,38 - 0,45	≤ 0,025	≤ 0,035	≤ 0,4	0,6 - 0,9	0,9 - 1,2	-	0,15 - 0,3	-
MIL-A 46100	≤0,5	≤0,04	≤0,05	≤0,9	≤1,5	-	-	-	-
X6CrNiMoTi17-12-2	≤0,06	≤0,04	≤0,15	≤0,75	≤2	16,5- 18	11,0- 2,5	2,0-2,5	≥5(C+N)

3. táblázat Vizsgált ötvözetek szilárdsági adatai

Jellemző	R _{p02} , MPa	Szórás, ±MPa	R _m , MPa	Szórás, ±MPa
42CrMo4	1206	16	1248	13
MIL-A 46100	1013	88	2029	76
X6CrNiMoTi17-12-2	240		600	



49. ábra Csavarral befogóba rögzített próbatestek, szemcse szórás előtt a merevtengelyre hegesztve.

A fárasztó vizsgálatokhoz a 42CrMo4 minőségű hengerelt köracél alapanyagból forgás szimmetrikus fárasztó próbatesteket készítettem 50. ábra, 51. ábra és 52. ábra.

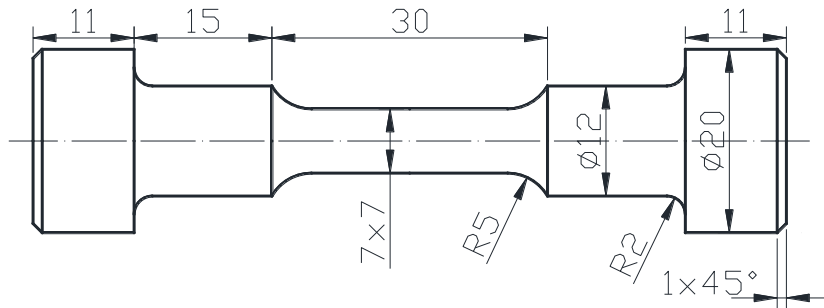
Az alapanyag azonos a statikus vizsgálatoknál használt nemesíthető próbatestek alapanyagával. A hengerelt köracélból forgácsolt próbatesteket indukciós hevítő berendezéssel ausztenitesítettem. 1000 C°-on 2 perc hőntartás után, termoelemmel 850 C°-ig hűtöttem (a próbatestekhez hegesztett termoelemre az induktor szabályozásához volt szükség). Mikor a darab az induktorból való kivétel után elérte a 850 C°-t a termoelemet levágva, a próbadarabot függőlegesen tartva olajba merítve edzettem. Az edzés után a próbatesteket egy samott lapon máglyába rakva, 600 C°-on félóráig hõn tartva megeresztettem, majd a kemencébõl a kerámia lappal együtt kivéve nyugvó levegõn hagytam kihûlni.

Azért az indukciós, tehát gyors edzés mellett döntöttem, mert a rendelkezésemre álló lehetőségek közül úgy értékeltem, hogy ezzel az eljárással tudom a próbatesteket a legjobb megismételhetőség és legkevesebb hőkezelés közbeni deformáció mellett a felület összetételének megváltozását is jól, kézben tartva jelen esetben minimalizálva kivitelezni. A felület összetétel megváltozásának megakadályozása egyértelmű célom volt. Egy komplex felületi jelenséget vizsgáltam, ezért mindent elkövettem, hogy elkerüljem a nem kívánt, a bizonytalanságot növelő hatásokat

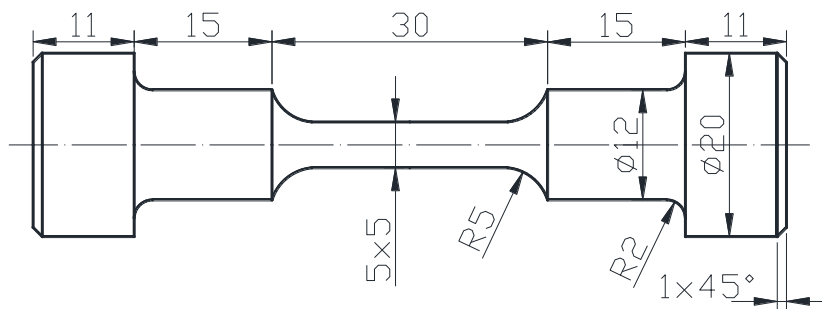
A fárasztó próbatest fárasztó berendezésbe való ideális befogásának feltétele, hogy a próbatest két vége minél jobb felületi minőségű legyen. A próbatestek végeit befogókkal óvtam a szemcseszórás felületi érdesség növelő hatásától (53. ábra). A ciklikus igénybevételnek kitett próbatestek szemcseszórása ugyan olyan, merev tengelytest számára beállított szórási paraméterek mellett történt. A változó paramétereket akkor nem mérték.

A próbatest vetemedése meggátolja a próbatest ideális befogását a fárasztó berendezésbe és a tervezett egytengelyű igénybevételt ismeretlen összetett terheléssé

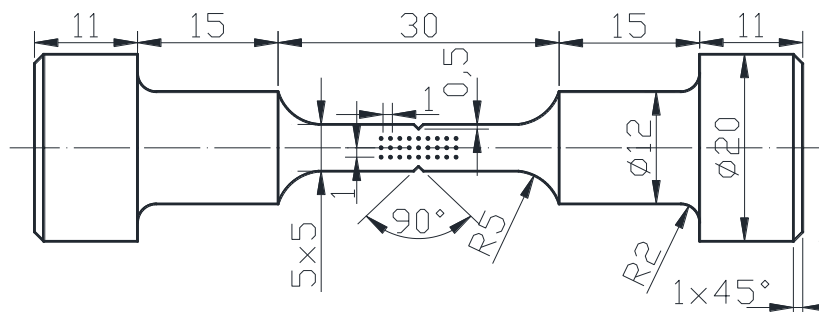
változtatja. Ha egy karcsú próbatetest hosszanti tengelye edzéskor nem merőleges a hűtő közeg, folyadék szintjére, hanem szöget zár be azzal, a darab elgörbül. Ezért fordítottam különös figyelmet a próbatestek hőkezelése során azok olajba merítésére.



50. ábra 7x7-es négyzetes hasáb alakú karcsúsítással ellátott próbatestek méretei

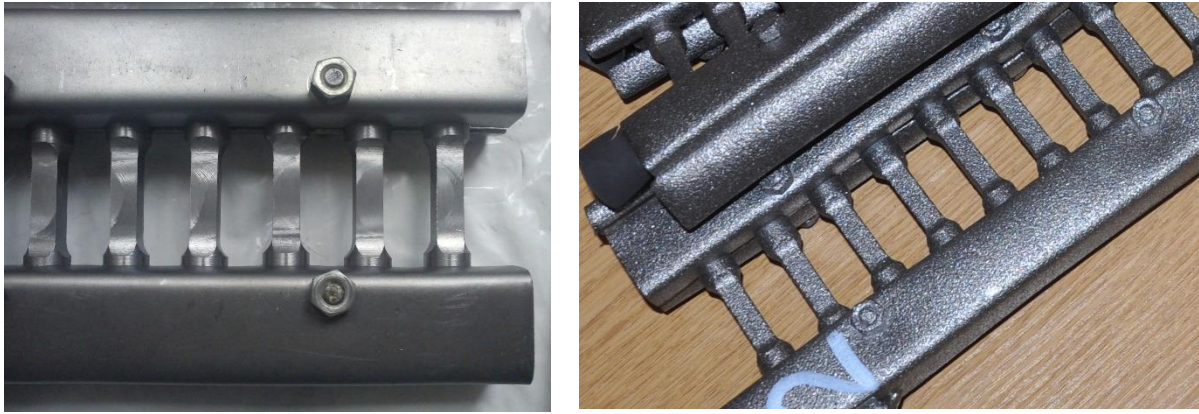


51. ábra 5x5-ös négyzetes hasáb alakú karcsúsítással ellátott próbatestek méretei



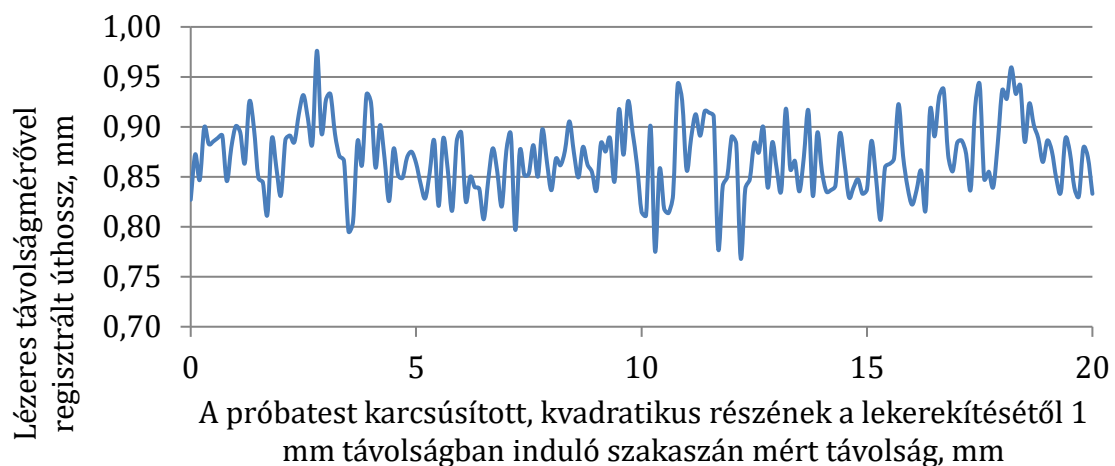
52. ábra 5x5-ös négyzetes hasáb alakú karcsúsítással ellátott és közepén két oldalon bemetszett próbatestek méretei, a bemetszés környezetében található mérési pontokkal

Az 5x5-ös próbatesteket 7x7-es szemcseszórt próbatestekből állítottam elő újbóli forgácsolással és azonos körülmények közötti ismételt szemcseszórással. A hat darab kisméretű próbatestből kettőt a karcsúsított rész közepén, a szemközi oldalakon 90° nyílás szögű fél mm mélységű, bemetszés után fárasztottam, mellyel a károsodás lokalizáltsága okán annak környezetében nagyobb felbontással tudtam vizsgálni a maradó feszültség viselkedését. A bemetszett próbatestek eredményeit külön fejezetben mutatom be.



53. ábra A befogóban rögzített próbatetek szemcseszórás előtt (bal) és után (jobb)

Megvizsgáltam a szemcseszórás nyomán kialakuló felületi érdességet is, hiszen a röntgendiffrakciós maradó feszültség meghatározás fókusz érzékeny eljárás. Az érdesség jellemzésére ezért kvantitatív módszert használtam, hogy megbecsülhessem a felületi érdességből fakadó fókusz eltérés maradó feszültség mérésre gyakorolt hatását. Ehhez egy saját építésű eszközt használtam, ami egy fotóállványra szerelt lézeres távolságmérőből és egy ez alá helyezett μm -es finomsággal mozgatható mikroszkóp tárgyasztalból állt. A próbatestet egy satuba fogva a tárgyasztalra helyeztem és egy 20 mm hosszú szakaszon 0,1 mm-es lépésközzel regisztráltam a lézeres távolságmérővel mért úthosszt (54. ábra). Az érdesség maximuma a 0,2 mm-t nem haladja meg, a 32. ábra függvényét alapul véve jelen érdesség maximum 15MPa hibát jelenthet a mérés során. A mérések során egyszerre 3 mm átmérőjű területet sugároztam be. A tapintó módszeres fókuszálás miatt csak a felület legfelső területeiről visszaszórt sugárzás mentes a defókuszálási hibától, ám ez az effektus nagyságrendjét figyelembe véve elhanyagolható hiba.



54. ábra A szemcseszórt próbatetek érdessége

Röntgendiffrakciós maradó feszültség méréseimet minden esetben módosított $\sin^2 \Psi$ módszerrel, többségében 3 mm foltátmérőjű kollimátorral (a bemetszett ciklikus próbatetek esetében 1 mm -es kollimátort használtam) végeztem, $\pm 45^\circ$ maximális döntési tartományban. A maradó feszültség értékét jellemzően hosszanti (a külső

terheléssel megegyező) irányban mértem. A lemez próbatestek hátoldalának közepén, kereszt irány mentén 5 ponton mértem egy kereszt irányú maradó feszültség traverzt is, melyet a vonatkozó diagram tengelyén jelölök. Ettől eltekintve a dolgozatomban a maradó feszültség értékeket mindig hosszanti irányban vizsgáltam, ahol a feszültség irányát nem jelölöm, ott a mért feszültség a próbatest hossz tengelyével és a monitorozás során ráadott külső terheléssel párhuzamos.

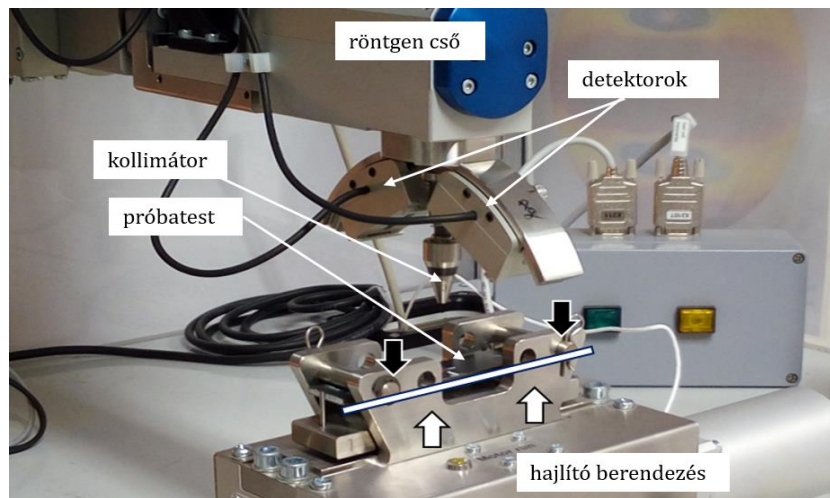
A 42CrMo4 és a MIL-A 46100 ötvözetekből készített próbatestek esetében Cr katódos röntgensövet használtam. A króm karakterisztikus $K\alpha$, $\lambda=229$ pm hullámhosszú röntgen sugárzás alkalmazása mellett a ferrit (211) Miller indexű síksorozatának $2\theta=156,4^\circ$ -nál jelentkező diffrakciós csúcsának eltolódásából számoltam maradó feszültséget. A kalkulációhoz $\nu=0,3$ Poisson tényezőt és a $E=211000$ modulust használtam. Az X6CrNiMoTi17-12-2 acél méréséhez Mn katódos röntgensövet használtam, melynek karakterisztikus $K\alpha$ röntgen sugárzásának hullámhossza $\lambda=210$ pm. Az ausztenit (311) Miller indexű síksorozatának $2\theta=152,3^\circ$ nál jelentkező diffrakciós csúcsának eltolódásából számoltam a maradó feszültséget. A kalkulációhoz a $\nu=2.8$ Poisson tényezőt és $E=196000$ modulus használtam. A lemez próbatestek szemcseszórt felületeinek felszíni feszültség eloszlásának mérésekor $3-3$, $\psi=0^\circ; \pm 30^\circ; \pm 45^\circ$ döntési pozíciót használtam. A lemez próbatestek hátoldalán végzett mérések során $5-5$, $\psi=0^\circ; \pm 20.7^\circ; \pm 30^\circ; \pm 37.8^\circ; \pm 45^\circ$ döntési pozíciót használtam. A Cr csővel végzett mérések során az alkalmazott gerjesztő feszültség 28 kV volt 8 mA átfolyó áramerősség mellett. A Mn cső esetén csak kisebb intenzitás ajánlott, mivel ennek az anyagnak kisebb a hővezető képessége, így ez könnyebben túlhevül. A Mn cső gerjesztő feszültsége 28 kV volt és az átfolyó áramerősség 6,6 mA. A gyűjtési időt minden esetben úgy határoztam meg, hogy a kapott válasz jel intenzitása meghaladja a 70-es beütés számot. A ciklikusan terhelt próbatestek mérése során $\psi=0^\circ; \pm 20.7^\circ; \pm 30^\circ; \pm 37.8^\circ; \pm 45^\circ$ döntési pozíciókban 5 sec. gyűjtési idővel gyűjtöttem az adatokat.

A statikus vizsgálatok kivitelezéséhez egy a Stresstech által eredendően rugalmassági modulus meghatározására kialakított berendezését használtam, ami négy pontos hajlító igénybevétel megvalósítására képes (55. ábra).

Az eredeti felhasználás során a berendezés szabályozható elmozdulás és a hajlító erő nagysága szerint. Mivel én a statikus külső feszültség maradó feszültségre gyakorolt hatását vizsgáltam, méréseim során az erő szabályzást használtam. Az ábrán fekete nyilak jelölik a megtámasztás helyét, fehérek a hajlító erő támadási vonalait.

A szemcseszórt lemez próbatestek a befogóból kivéve hosszanti és kereszt irányban is deformálódtak. A szórt oldal kidomborodott. A deformáció mértékének számszerűsítése érdekében a próbatesteken a további vizsgálatok előtt 3D -s méréseket végeztem minden próbatest mindkét oldalán. A letapogatásban segítségemre volt Nyitrai Szabolcs okleveles anyagmérnök, az Alcoa Forgings and Extensions munkatársa, aki a méréseket elvégezte egy GOM fejlesztésű Atos rendszerű 3D letapogató berendezéssel. A 3D mérés során a próbatest szemcseszórás előtti méreteiből alkotott CAD modell legnagyobb

oldalával párhuzamos felezősíkjától vett eltérés értékeket kaptunk a próbatest kilenc nevezetes pontjában, mm-ben. A mérés során nagyfelbontású optikai kamerák szolgáltatják a szoftver által feldolgozott nyers adatokat.



55. ábra A négyponos hajlító berendezés, a benne elhelyezett lemez próbatesttel „in-situ” mérés közben.

A próbatestek fárasztására a Miskolci Egyetem Anyagszerkezettani és Anyagtechnológiai Intézetének Komplex mechanikai anyagvizsgáló laboratóriumában található, MTS gyártmányú, elektro-hidraulikus anyagvizsgáló rendszeren (56. ábra). került sor. Az alkalmazott fárasztó igénybevétel minden esetben egytengelyű, holtjáték nélküli, $R_\sigma = -1$ terhelés aszimmetria tényezőjű, húzó-nyomó igénybevétel volt



56. ábra Az alkalmazott fárasztó berendezés

7. KUTATÁSI EREDMÉNYEK

Vizsgálataim minden esetben maradó nyomó feszültségek igénybevétel közbeni változásainak megfigyelésére irányulnak. A nyomó feszültség definíció szerint negatív. A kísérleti eredményeim bemutatása során fordított érték tengelyű diagramokat alkalmazok. Kivéve a mélységi maradó feszültség profil diagramokat.

A statikus igénybevétel közbeni in situ feszültség monitorozás eredményeiből tézist nem fogalmaztam meg, ezért azok bemutatásától a dolgozatban eltekintek, a részletes eredményeket a [70]. sorszámú hivatkozás tartalmazza.

A maradó feszültség mérések eredményeit minden mintára és mérési pontra (σ : normál feszültség, τ : csúsztató feszültség, FWHM diffrakciós csúcs félérték szélesség, és ezek szórását, valamint a diffrakciós csúcs 2θ szögét) a melléklet tartalmazza.

7.1. Spontán deformációval zajló spontán feszültség változás monitorozása

A szemcseszórás után a próbatestek felszínének hossz tengely irányában mérhető feszültségének eloszlását egy 4x4 mm rács mentén, még a mintabefogóban megvizsgáltam (57. ábra). A lemezek csavarokkal leszorított befogóban lévő, és az onnan kivett állapotában is megmértem a hozzáférhető oldal felületén mérhető feszültség eloszlását. A különböző anyagminőségek párhuzamos mintáinak felszínén mért feszültség eloszlások eredményeiből, agyagminőségként egyet-egyet mutat az 58. ábra; 59. ábra; és az 60. ábra. Az egyes anyagminőségek párhuzamos méréseinek itt be nem mutatott párjait a melléklet tartalmazza. A párhuzamos mérések gyakorlatilag azonos eredményeket adtak. A szemcseszórás után a felületen kialakuló maradó feszültség eloszlás átlagos értékei, az alapanyagminőségétől erősen függenek. A próbatestek szemcseszórta oldalának közepén mérhető nyomó maradó feszültségek értéke a befogóból való felszabadítása után átlagosan 200 MPa-al csökken. A feszültség változásának mértéke a lemezek közepén, a befogó leszorító csavarjai közé eső területen a legnagyobb és csavarokon kívül eső részekben, hosszanti irányban folyamatosan csökken. Az X6CrNiMoTi17-12-2 acél esetében a minta középső részein a feszültség még előjelet is vált, kis húzófeszültségek alakulnak ki. A szemcseszórta felületeken befogóval és a kivétel után mért maradó feszültség eloszlások átlagos értékeit a 4. táblázat mutatja be. A próbatestek szemcseszórta oldalán a befogóból történő felszabadítás után bekövetkező feszültség relaxáció oka a próbatestek egyoldalú, aszimmetrikus szemcseszórása. A felület szemcseszórása miatt bekövetkező képlékeny alakváltozás, nyúlás a befogóból való felszabadítás után a próbatest szorta oldalának kidomborodását eredményezte. Ez a nem szorta, hátoldal összepréselődését, a felületben maradó nyomó feszültség kialakulását okozza.

A maradó feszültség hátoldali eloszlását már anyagminőségként csak egy próbatesten, és kevesebb pontban, ám két irányban is megvizsgáltam.

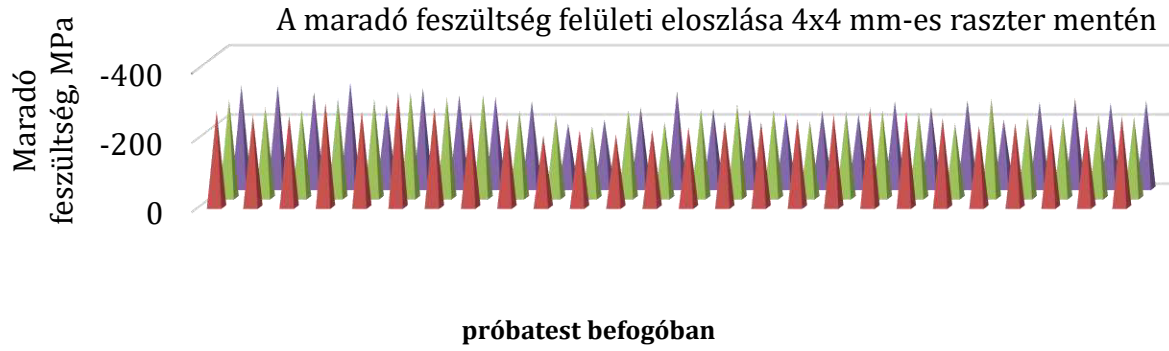


57. ábra A szemcseszórt próbatestek, befogóban, a feszültség felületi eloszlásának méréshez használt raszterrel.

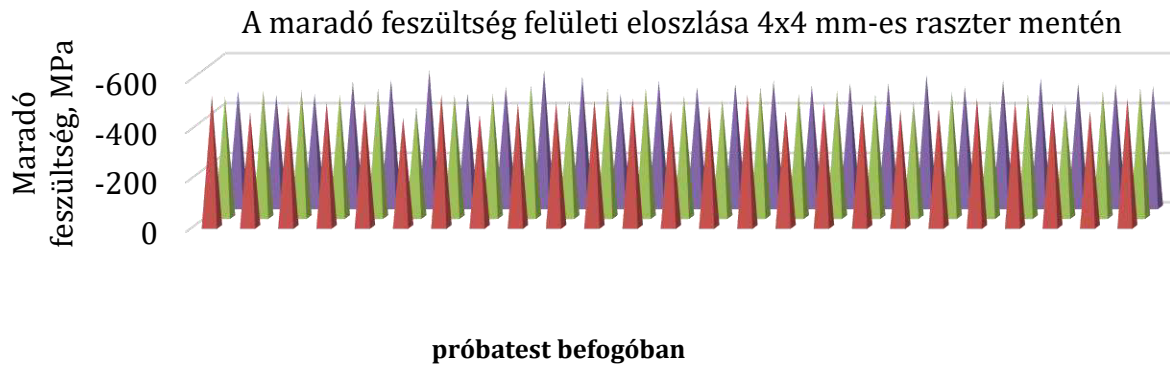
Az 61. ábra alján egy fotó mutatja be a hátoldalon megvizsgált területeket, ezek a színezett területek. A hátoldalon mérhető hosszanti irányú maradó feszültségek értékei minden esetben meghaladják a 250 MPa értéket (61. ábra; 63. ábra; 65. ábra). A próbatestek hátoldalának kereszt irányú maradó feszültségét is megvizsgáltam a középső kereszt traverz mentén, mely vizsgálatok eredményeit az 62. ábra; 64. ábra és az 66. ábra tartalmazza. A keresztirányú feszültségek értékei jóval meghaladják az azonos pontban mért hosszanti irányú feszültségek értékeit, közel kétszeresei azoknak. A hátoldalon létrejött legnagyobb nyomó feszültség az X6CrNiMoTi17-12-2 acélban alakul ki. Ennek oka, hogy ennek az alapanyagának más a kristályrácsa. Ez nem térben középpontos kockarácsú, hanem felületen középpontos kockarácsú. Más az alakváltozás mechanizmusa, és lényegesen alacsonyabb a folyáshatár. A szemcseszórás energiája nagyobb mértékű képlékeny alakváltozást okoz, mely a befogóból való felszabadítást követően nagyobb mértékű deformációt, ami nagyobb hátoldali feszültségeket eredményez.

4. táblázat Különböző minőségű lemez próbatestek, szemcseszórt oldalának befogóban és befogóból felszabadított állapotban mért átlagos feszültség értéke

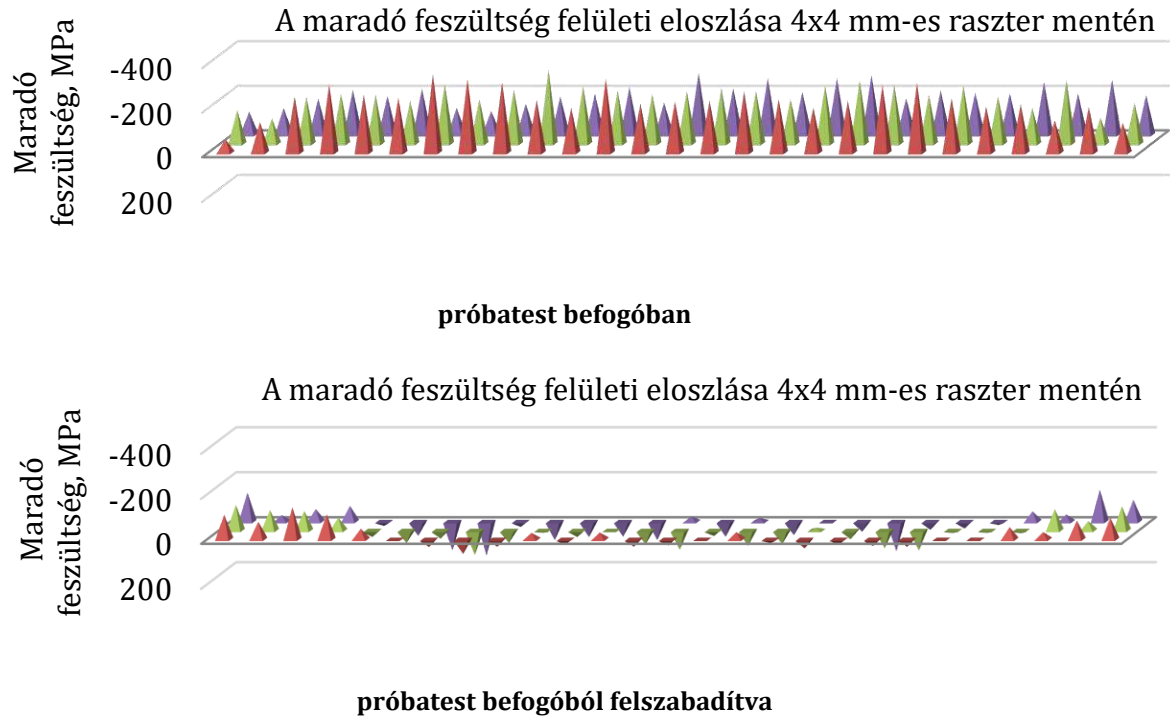
Mért adat Próbatest	felületi átlag befogóban, MPa	felületi átlag befogó nélkül, MP	az átlagban bekövetkezett változás, Mpa	változások minőségenkénti átlaga, MPa
42CrMo4/1	-254.0	-114.6	139.4	135
42CrMo4/2	-254.2	-123.5	130.7	
MIL-A 46100/1	-503.3	-309.0	194.3	176
MIL-A 46100/2	-497.5	-339.7	157.7	
X6CrNiMoTi17-12-2/1	-218.1	2.4	220.5	220
X6CrNiMoTi17-12-2/2	-213.6	6.5	220.1	



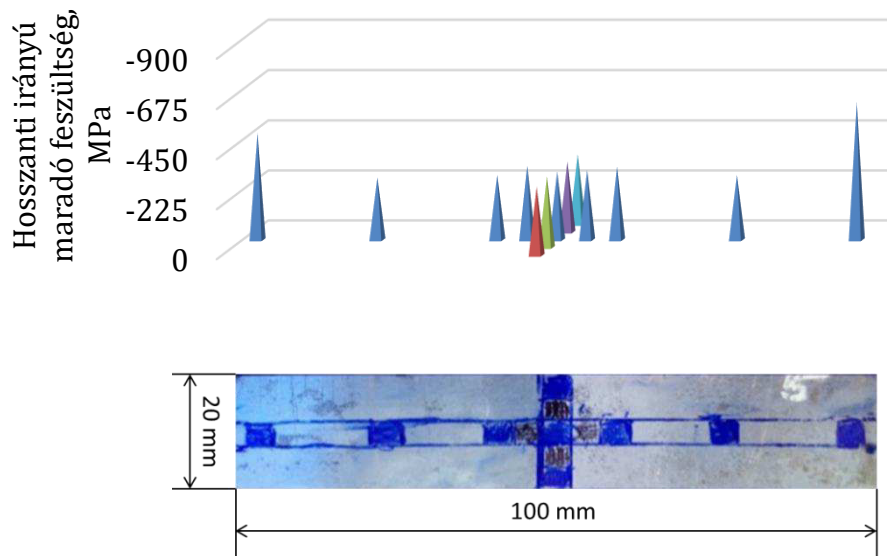
58. ábra 42CrMo4/1 próbatest szemcseszórt felszínén mérhető feszültség eloszlása



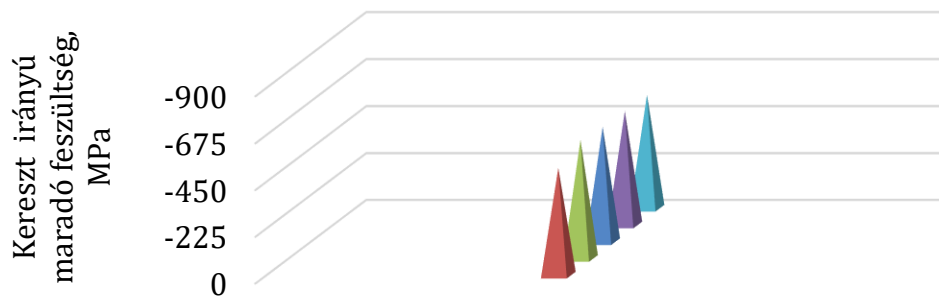
59. ábra MIL-A 46100/1 próbatest szemcseszórt felszínén mérhető feszültség eloszlása



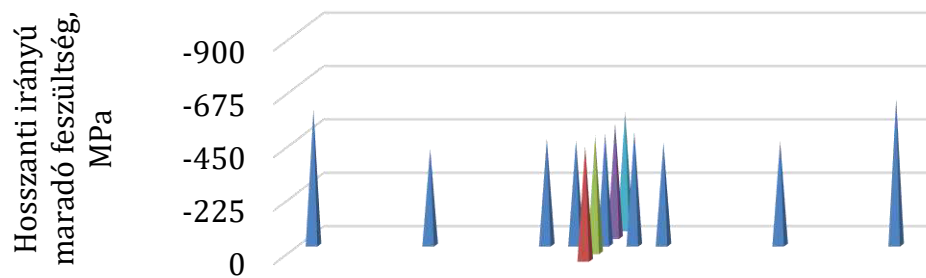
60. ábra X6CrNiMoTi17-12-2/1 próbatest szemcseszórt felszínén mérhető feszültség eloszlása



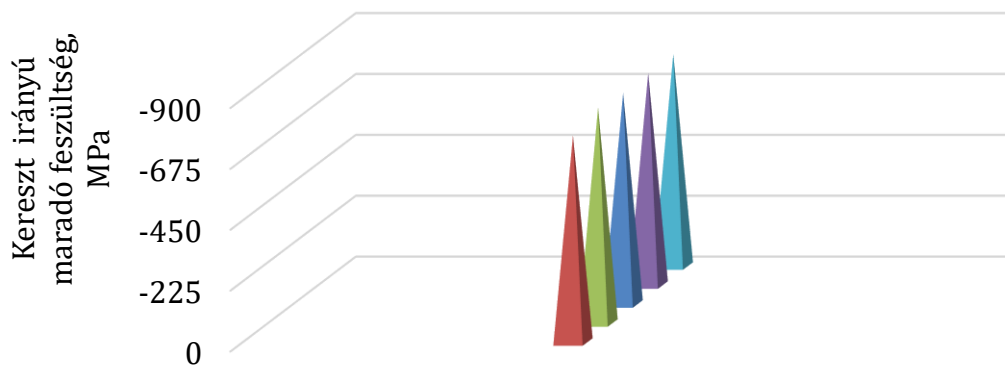
61. ábra A 42CrMo4 próbatest hátoldalának hosszanti irányú maradó feszültség eloszlása. Az értékek a próbatest hátoldalának diagram alatti fotóján beszínezett területekhez tartoznak



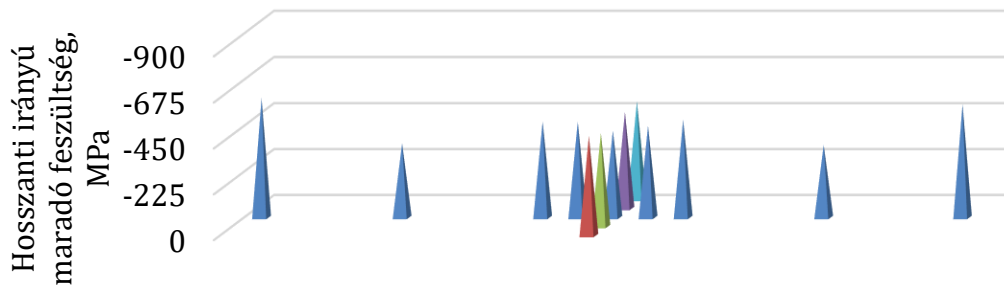
62. ábra A 42CrMo4 próbatest hátoldalának kereszt irányú maradó feszültség eloszlása a középső kereszt traverz mentén



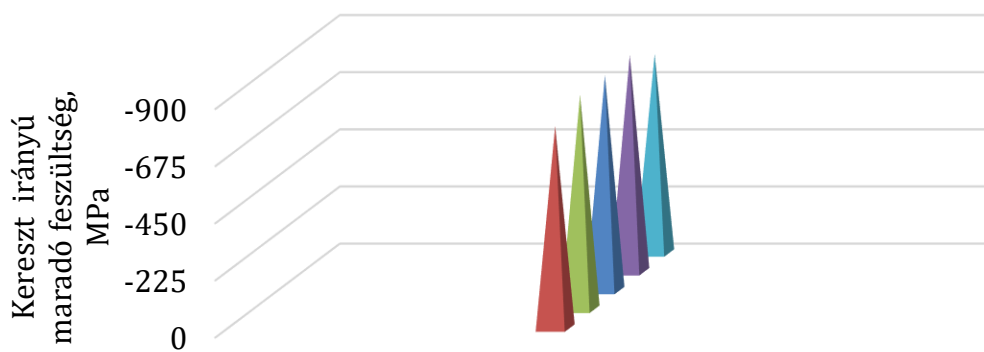
63. ábra A MIL-A 46100 próbatest hátoldalának hosszanti irányú maradó feszültség eloszlása.



64. ábra A MIL-A 46100 próbatest hátoldalának kereszt irányú maradó feszültség eloszlása a középső kereszt traverz mentén

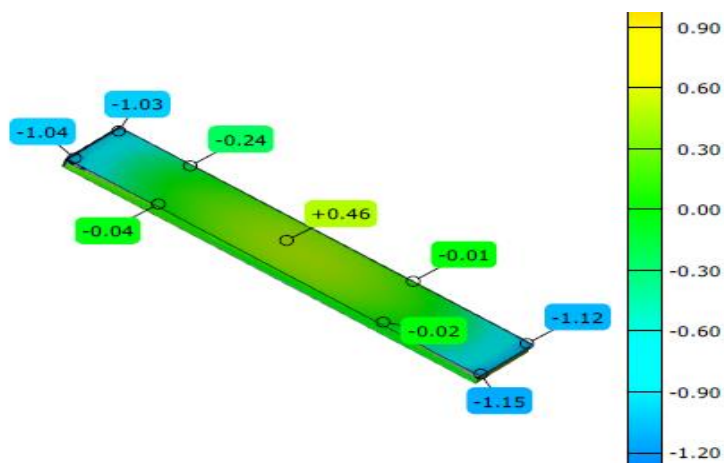


65. ábra Az X6CrNiMoTi17-12-2próbatest hátoldalának hosszanti irányú maradó feszültség eloszlása.



66. ábra Az X6CrNiMoTi17-12-2próbatest hátoldalának kereszt irányú maradó feszültség eloszlása a középső kereszt traverz mentén

Az 67. ábra a 42CrMo4 minőségű acél 1 próbatestének szemcseszórt oldalának 3D mérési eredményeit mutatja be. Az összes próbatest 3D-szkennelt eredményeit a melléklet tartalmazza, melyek nevezetes pontjaiban a síktól mért eltérés értékeket, befogóból való kivétele után látható deformációt összesítve a 5. táblázat mutatja be. A feltüntetett pozíciókban rögzített adatok maximális különbségéből adódik a táblázat utolsó oszlopa.



67. ábra 42CrMo4/1, próbatest szemcseszórt oldalának 3D szkennelt eredményei

5. táblázat A lemez próbatestek deformációjának számszerűsítése 3D mérésekkel

Próbatest	Mért adat oldal	bázis síktól mért eltérés (mm)					maximum eltérés	szórt oldalak eltéréseinek átlaga
42CrMo4/1	szórt oldal	-1,03	-0,24	0,46	-0,01	-1,12	1,61	1,58
		-1,04	-0,04		-0,02	-1,15		
	hát oldal	0,91	-0,17	-0,55	-0,11	1	1,55	
		0,97	-0,23		-0,05	0,98		
42CrMo4/2	szórt oldal	-0,99	0,3	0,43	0,09	-1,09	1,55	1,59
		-1	0,16		-0,13	-1,12		
	hát oldal	0,79	-0,08	-0,56	-0,3	0,9	1,46	
		0,87	-0,24		-0,15	0,9		
MIL-A 46100/1	szórt oldal	-1,16	-0,20	0,30	-0,40	-1,07	1,48	1,59
		-1,18	-0,10		-0,34	-1,15		
	hát oldal	0,98	0,12	-0,35	0,02	1,03	1,42	
		0,97	0,16		0,24	1,07		
MIL-A 46100/2	szórt oldal	-1,06	-0,08	0,39	0,09	-1,3	1,69	1,58
		-1,01	0,04		-0,04	-1,07		
	hát oldal	0,94	-0,13	-0,57	-0,2	nincs adat	1,58	
		1,01	-0,24		-0,08			
X6CrNiMoTi17-12-2/1	szórt oldal	-1,95	-0,34	0,91	-0,47	-1,91	2,86	2,84
		-1,76	-0,26		-0,24	-1,79		
	hát oldal	2,14	0,4	-1,01	0,25	1,96	3,15	
		2,05	0,26		0,29	1,91		
X6CrNiMoTi17-12-2/2	szórt oldal	-1,9	-0,6	0,88	-0,55	-1,84	2,81	2,95
		-1,91	-0,31		-0,37	-1,93		
	hát oldal	1,91	0,37	-0,97	0,2	1,79	2,95	
		1,98	0,38		0,31	1,94		

A maximális eltérések természetesen a próbatestek szórt és hátoldalán nagyon közeli értékeket vesznek fel, hiszen a nevezetes pontok helyzete is azonos és a lemezek vastagságában nem következhetett be érdemi változás. Az eltérő anyagminőségek aszimmetrikus szórás okozta eltérő mértékű deformációját ezzel számszerűsítettem.

A befogóban szemcseszórt próbatestek eredményei alapján a következő megállapításokat tehetjük:

- Az együtt kezelt azonos anyagminőségű próbatestek felületi maradó feszültség eloszlása azonos.
- Az azonosan szemcseszórt próbatestekben kialakuló maradó feszültség értéke az alapanyag szilárdsági mutatóival korrelál, nagyobb szilárdságú alapanyag, szórást követően nagyobb mértékű nyomó feszültség megtartására képes.
- A befogóból felszabadított próbatestek deformálódtak, a deformáció következtében a szórt oldalon mérhető, maradó nyomó feszültség értéke

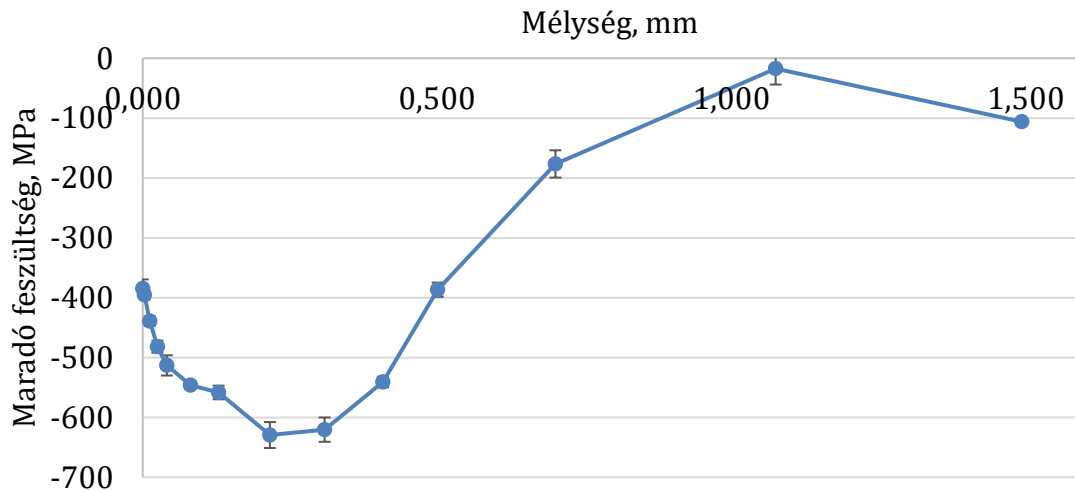
csökken, a csökkenés mértéke a darabok közepén a legnagyobb, anyagminőségenként azonos jelleget és mértéket mutat.

- A különböző anyagminőségek esetében a feszültség csökkenésének értéke különböző, a legnagyobb csökkenés az eredendően legkisebb feszültség értéket tartó X6CrNiMoTi17-12-2 acél esetében figyelhető meg, a nyomó feszültség előjelet is vált.
- Az alakváltozás hatására bekövetkező méret deformáció azaz a síktól való eltérések maximumának és minimumának különbsége (4. táblázat) korrelál a feszültség csökkenés mértékével (5. táblázat), a legnagyobb deformáció és a legnagyobb feszültség csökkenés is az ausztenites acél esetében tapasztalható.
- A felszabadítást követő deformáció után a szórással ellentétes oldalon nagymértékű nyomó feszültségek alakulnak ki.
- Ezeknek a hátoldali maradó nyomó feszültségeknek az átlagai, az ausztenites és a nemesített próbatestek esetében meghaladják a szemcseszórással előidézett maradó feszültségek átlagait.
- A hátoldal kereszt traverz menti kereszt irányú feszültség értékei az ausztenites acél esetében kiugróan magasak, átlagban meghaladják a -800 MPa értéket, ami meglepően nagy érték, az acél alacsony szilárdsági mutatói mellett.

7.2. Maradó feszültség relaxációja ciklikus igénybevétel közben

7.2.1. Próbatestek előkészítése feszültség monitorozási vizsgálathoz

A 68. ábra szemlélteti a 42CrMo4 minőségű próbatestek jellemző mélységi maradó feszültség eloszlását a szemcseszórást követően. A próbatestet, melyen a mélységi maradó feszültség profilt megvizsgáltam a későbbiekben fárasztó igénybevételnek nem tettem ki. A felszíni réteg eltávolításához elektrolitos maratást használtam. Ez a módszer gyakorolja a legkisebb, hatást a maradó feszültség állapotra és mind ezek mellett jól szabályozható. A darabot több lépésben maratam a mélység és a maradó feszültség értékek regisztrálása mellett. A darab felületét gyorsan kötő, kétkomponensű, nagyszilárdságú epoxigyantával növeltem meg, hogy a marató berendezést hézagmentesen ráilleszthessem. Erre azért volt szükség, mert a marató berendezés vákuum szivattyúval keringeti az elektrolitot és a marató fejnek légmentesen illeszkednie kell a maratott területre, ami a próbatest esetében kisebb volt, mint a maratófej. A maradó feszültség mélységi eloszlása megfelel a 17. ábrán bemutatott jellegnek.



68. ábra A 42CrMo4 minőségű fárasztó próbatetek jellemző mélységi maradó feszültség eloszlása

A próbatetek négy oldalának három-három 3 mm folt átmérőjű területén (69. ábra) mértem a maradó feszültség értékeket szemcseszórás utáni, kiinduló állapotban és minden fárasztási lépés után, utolsó lépésben a törött próbatetek maradó feszültség állapotát is megmértem. Minden esetben ugyanazokban a pontokban (területeken) a jellemző fárasztó igénybevétel, azaz a darab hossz tengelyének irányában mértem a felszínre jellemző maradó feszültség értékét. Ilyen módon 12 db. maradó feszültség értéket mértem, minden próbatesten a fárasztó igénybevétel előtt, és a fárasztás közben.

A fárasztási feszültség szintek meghatározásához az ötvözet 3. táblázat által bemutatott szilárdsági adatai szolgáltak kiindulópontként.



69. ábra A próbatetek egy oldalán rögzített maradó feszültség értékek mérési területei

7.2.2. 42CrMo4 minőségű próbatetek maradó feszültségének fárasztó igénybevétel közbeni monitorozása

A maradó feszültség viselkedésének fárasztás közbeni megfigyeléséhez először próbafárasztásokat végeztem, azaz az első hat próbatestet törésig fárasztottam 510, 450, és 400 MPa feszültség szinteken. A legmagasabb fárasztási feszültség szint sem érte el az alapanyag folyáshatárának felét. Ezeket a próbateteket a későbbiekben próbafárasztott próbateteknek nevezem. Ezeknek a vizsgálatoknak az eredményeiből becsültem a várható élettartamot (törésig elviselt ciklusszám) az egyes feszültség szinteken, majd megállapítottam milyen ciklusszámnál fogom a fárasztó igénybevételt megállítani és a próbateteket újra mérni. A több lépésben újra mért és közben fárasztott próbateteket a későbbiekben koncepcionálisan fárasztott próbateteknek nevezem. Az így felállított

kísérleti programomat 6. táblázat mutatja. Az alkalmazott feszültség szinteket ' σ '-val jelölöm. N_1 az első terhelési egység ciklusszáma, N_n a további terhelési egységek ciklusszám növekménye, azaz egy terhelési egység során ennyi ciklust táplálunk a próbatestbe. 'H' jelöléssel szerepel a kísérlet sorozatban egy nemesített, de szemcseszórással nem kezelt, csak nemesített próbatest is.

6. táblázat A ciklikus igénybevételnek kitett próbatestek fárasztási terve

próbatest száma	méret	terhelési feszültség σ_t , MPa	terhelési egységek	
			N_1	N_n
1	7x7	510	próba fárasztások, vizsgálatok közvetlenül törésig	
2	7x7	450		
3	7x7	450		
4	7x7	400		
5	7x7	400		
6	7x7	400		
7	7x7	500	20000	12500
8	7x7	450	30000	20000
9	7x7	400	45000	30000
10	5x5	500	20000	12500
11	5x5	450	30000	20000
12	5x5	400	45000	30000
13	5x5	350	70000	45000
14	5x5	350	bemetszett próbatestek	
15	5x5	350		
16	7x7	500	45000	12500
17	7x7	450	70000	20000
18	7x7	400	11000	30000
19	7x7	450	50000	20000
20	7x7	350	70000	45000
H	7x7	350	70000	45000

Az első hat rögtön törésig fárasztott próbatestből négy fejben tört. Meggyőződésem, hogy a kísérlet sorozatom eredményei a törésmechanika témakörében tevékenykedők számára is értékes információt jelentenek. Igyekeztem minimalizálni a próba fárasztások után vizsgált próbatestek fejben törésének esélyét. Mivel a törésmechanikával foglalkozó szakma számára csak a karcsúsított részben tört próbatest értékelhető, ugyanúgy, ahogy ez elvárás szakító próbatestek esetében is.

A hidraulikus fárasztó berendezés két pofa közé szorítja a próbatestek két végén található fejeket. Ha a próbatestek fejeinek síkjai az egyedi kézi edzés ellenére sem párhuzamosak, akkor a próbatestben összetett, többtengelyű feszültség állapot alakul ki,

ami megnöveli a fej alatti keresztmetszet változásában a feszültség koncentrációs hatást. Ennek a lehetőségnek a megszüntetése érdekében a koncepcionálisan fárasztott próbatestek, a szemcseszórás követően a fej síkjainak párhuzamosságát bebiztosítva finom utóforgácsolást kaptak.

A szemcseszórás eredményeként kialakuló felszíni maradó nyomó feszültség állapot eloszlása mindig hordoz magában bizonytalanságot. A próbatest karcsúsított részének különböző területeire becsapódott szemcsék számának függvényében változik a mintában ébredő maradó feszültség állapot. A lefedettség mértéke a felület mentén változik. Az egyes próbatesteken felvett 12 db. feszültség adat és a próbatestek egymáshoz viszonyított 12 db. feszültség adatából számított átlagos maradó feszültségek értékei relatíve nagymértékű szórást mutattak.

A maradó feszültség monitorozás eredményeit oly módon mutatom be, hogy az egyes próbatestek egyes állapotaiban vizsgált 12 db mérési pontot átlagoltam. Ezen átlagokat a továbbiakban pedig a kiinduló érték százalékában kifejezve a ciklus szám függvényében ábrázoltam.

Az igénybevétel közbeni maradó feszültség relaxáció százalékos formában való ábrázolása lehetővé teszi az eltérő nagyságú kiinduló maradó feszültség állapotú próbatestek viselkedésének összehasonlítását.

A 42CrMo4 minőségű próbatesteken végzett méréseim eredményeit a 70. ábra foglalja össze. A diagram jelmagyarázatában látható a próbatest sorszama, ezt követi az alkalmazott fárasztási feszültség szint és zárójelben a próbatest kiinduló állapotában mért átlagos feszültség értéket is feltüntettem. Továbbá jelzem az 5x5-ös próbatestek méretét is. A próbafárasztások eredményeit a zöld különböző árnyalataival jelölöm (1-6 sorszámú próbatestek). A koncepcionálisan fárasztott 7x7-es próbatestek eredményeit a kék különböző árnyalataival jelölöm (7-9, illetve 16-20 sorszámú, valamint a H jelölésű próbatestek). A H jelölésű próbatest egy nemesített, de szemcseszórással nem kezelt próbatest. A koncepcionálisan fárasztott 5x5-ös próbatestek eredményei szürke színnel jelennek meg (10-13 sorszámú próbatestek) A jelölők alakja a fárasztó feszültség szinteket jelölik: kör 500, (510) MPa-on fárasztott próbatestek, négyzet 450 MPa-on fárasztott próbatestek, háromszög 400 MPa-on fárasztott próbatestek, rombusz 350 MPa-on fárasztott próbatesteket jelent. Az eredmények könnyebb értelmezhetősége érdekében azokat feszültség szintekre bontva is ismeretem, ahol az egy próbatesthez tartozó értékeket összekötve mutatom be. Az átlagos kiinduló feszültségek értékeit ezeken a diagramokon is megadom. (73. ábra, 74. ábra, 75. ábra és a 76. ábra).

A 7x7 es karcsúsított részben eltört próbatestek mindegyikében a hengeres és kvadrátos keresztmetszet átmenetében jelentkezett a törés, egyedül az 5x5-ös próbatestek között fordult elő olyan (11 számú), ahol a törés a karcsúsított rész közepén és nem a kvadrát hengeres átmenetben található (71. ábra).

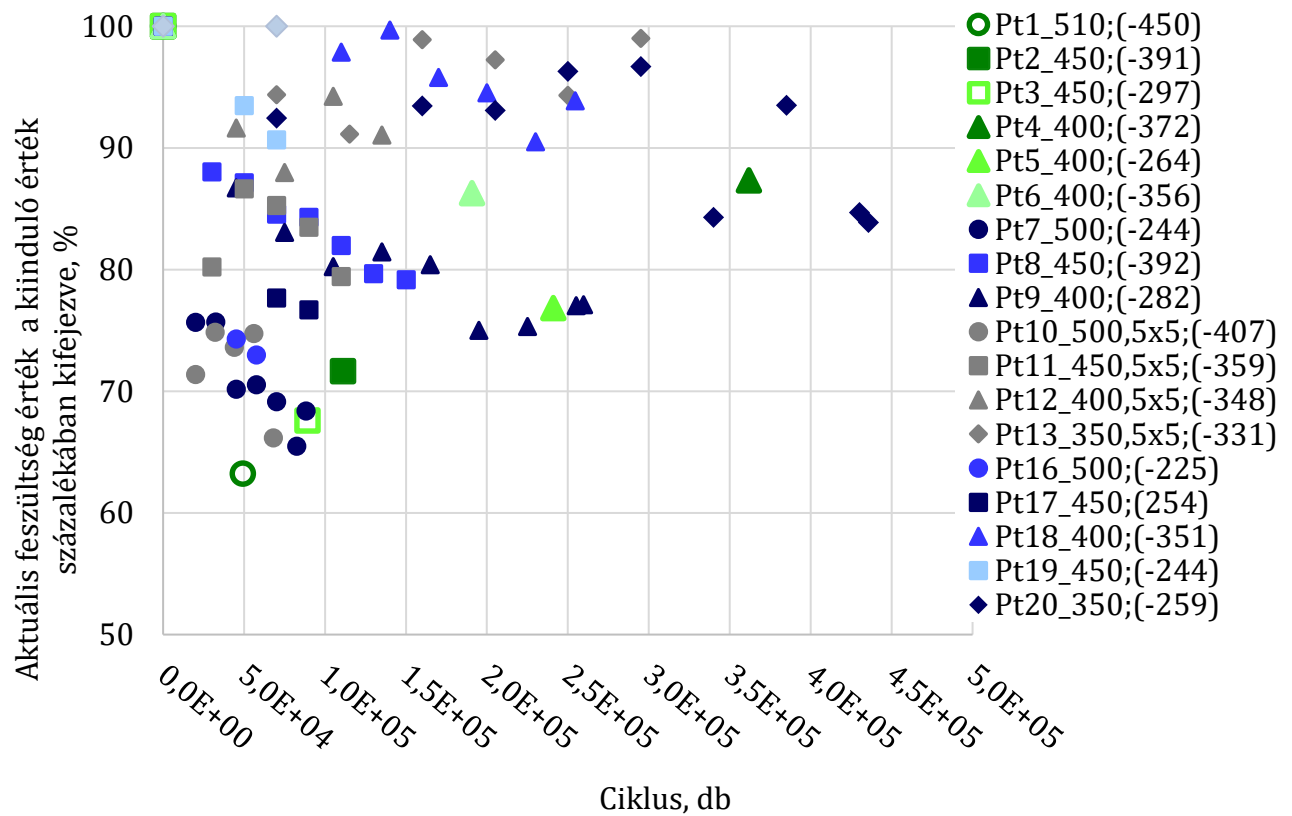
Ennek azért van jelentősége, mert a karcsúsított részben törött próbatestek esetén a törés után már a 12 mérési pontból valamelyik 4-et minden esetben érinti a törés. A törés által érintett vizsgálati pontokban mérhető maradó feszültségek kiugróan nagymértékű maradó feszültség leépülést mutatnak [71]. Nem megállapítható, hogy ezt a maradó feszültség leépülést a ciklikus igénybevétel, avagy a törés okozta. Ezen pontok értékei a törött állapotban mért 12 db mérési pont átlagában nagymértékű, nem meghatározható eredetű csökkenést eredményeznének, ami téves következtetésekhez vezetne.

A karcsúsított részben eltört 7x7-es koncepcionálisan fárasztott próbatestek törés előtti utolsó és törés utáni 12 db felületi mérési pontjának eredményeit 72. ábra diagramjai mutatják be. Az a, b, c, d jelöli a próbatest középső kvadrátikus részének 4 oldalát, az 1, 2, 3 pedig az oldalon belüli mérési területeket. Pirossal jelöltem a törés közvetlen környezetében mért adatokat. Megfigyelhető a törés környezetében jelentkező nagymértékű maradó feszültség leépülés.

Mivel munkám során nem a törés, hanem a fárasztás maradó feszültségre gyakorolt hatását vizsgáltam a törés környezetébe eső kerületen elhelyezkedő 4 mérési pont értékei semmiképp nem vehetők számításba. A törés által érintett 4 mérési pont kivételével maradó 8 db mérési pont átlaga az adatok közötti eltérés jellemző nagysága miatt szintén nem köthető össze egy 12 db mérési adat átlagát jelentő értékkel. Ebben az esetben az egyes próbatestek mérési eredményeinek sorozatát befejező pontra ismételten egy idegen hatás a felületi szórás és nem a relaxáció gyakorolna domináns hatást.

Ezért abban az esetben, mikor a karcsúsított részben következett be a törés a törés utáni eredményekből számolt átlagos feszültség értékeket már, nem szerepeltetem a fárasztó igénybevétel közbeni feszültség monitorozási diagramokon (70. ábra, 73. ábra, 74. ábra, 75. ábra és a 76. ábra). A 70. ábra-ban zölddel szereplő előfárasztott próbatestekből kettő a kvadrátikus részben tört (1 és 3) Mivel ezeket is szerepeltetni akartam, ezért ezeknek a kezdeti 100% értékét is csak a törött állapotban mérhető 8 adatból kalkuláltam. Mivel ezek a jelölők csak 8 db mérési pont átlagát jelentik, meg kívántam ezeket különböztetni, ezért ezeket üres jelölővel tüntettem fel a diagramjaimban. Szembetűnő, hogy még a korrekció ellenére is ebben a két próbatestben tapasztalható az átlagolt feszültség legnagyobb mértékű leépülése. Ezt okozhatja akár, hogy a törés hatást gyakorol a kvadrátikus rész középső kerületén elhelyezkedő négy mért területre is.

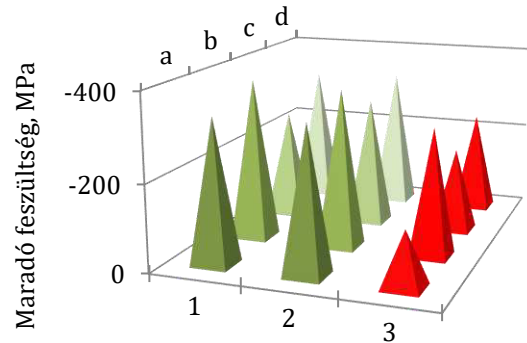
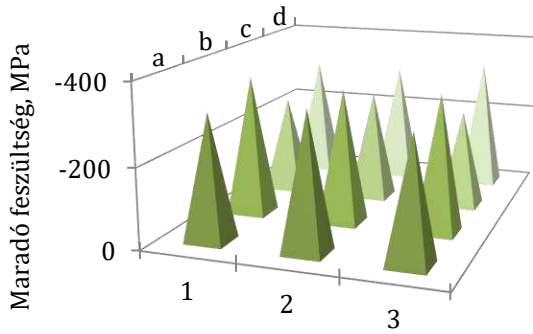
Ezzel szemben a fejben tört próbatestek utolsó, törés után mért eredményeit a feszültség szintekre bontott diagramokon sárgával jelölöm, így megkülönböztethetőek mely utolsó értékek vonatkoznak törés után újramért átlagos értékre és melyek vonatkoznak törés előtti utolsó állapotra.



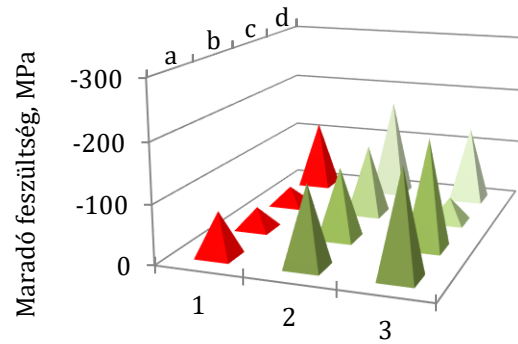
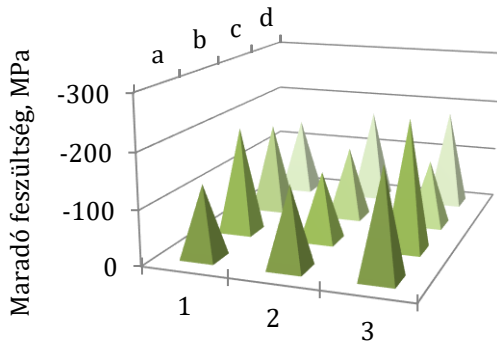
70. ábra A maradó feszültség fárasztó igénybevétel közbeni viselkedése; az egyes próbatestek kiinduló átlagos feszültség értékeiket 100%-nak tekintve a különböző feszültség szinteken, az egyes terhelési egységek után ismételten mért átlagos feszültség értékeket a kezdeti feszültség %-os értékében a ciklus szám függvényében ábrázolva



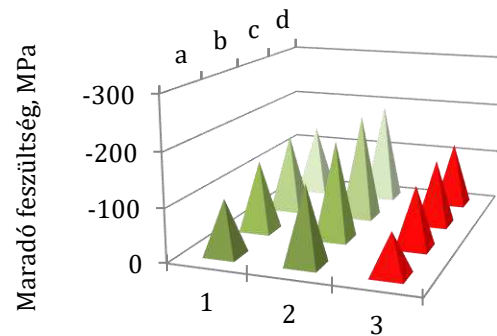
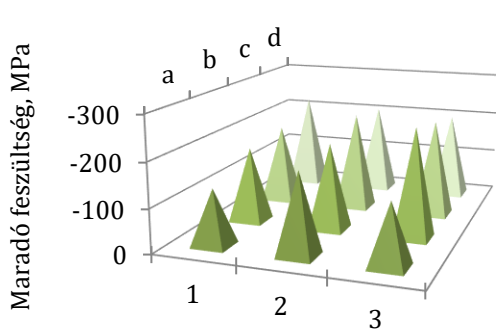
71. ábra A második kísérlet sorozatban elfárasztott próbatestek



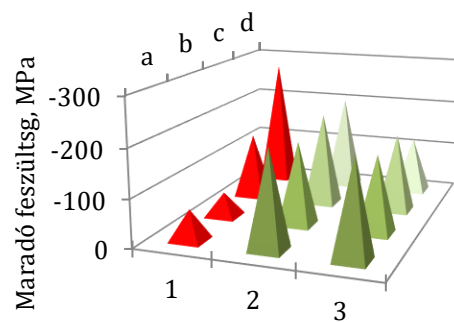
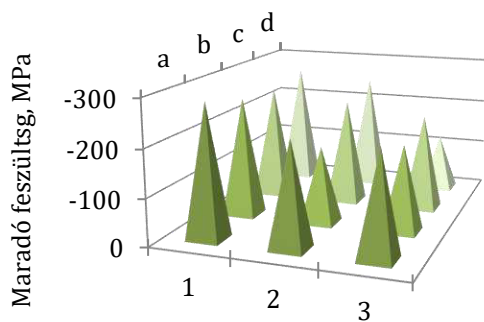
8. próbatétel törés előtt és törés után, a töret mellett mért feszültség értékek pirossal szerepelnek



16. próbatétel törés előtt és törés után, a töret mellett mért feszültség értékek pirossal szerepelnek

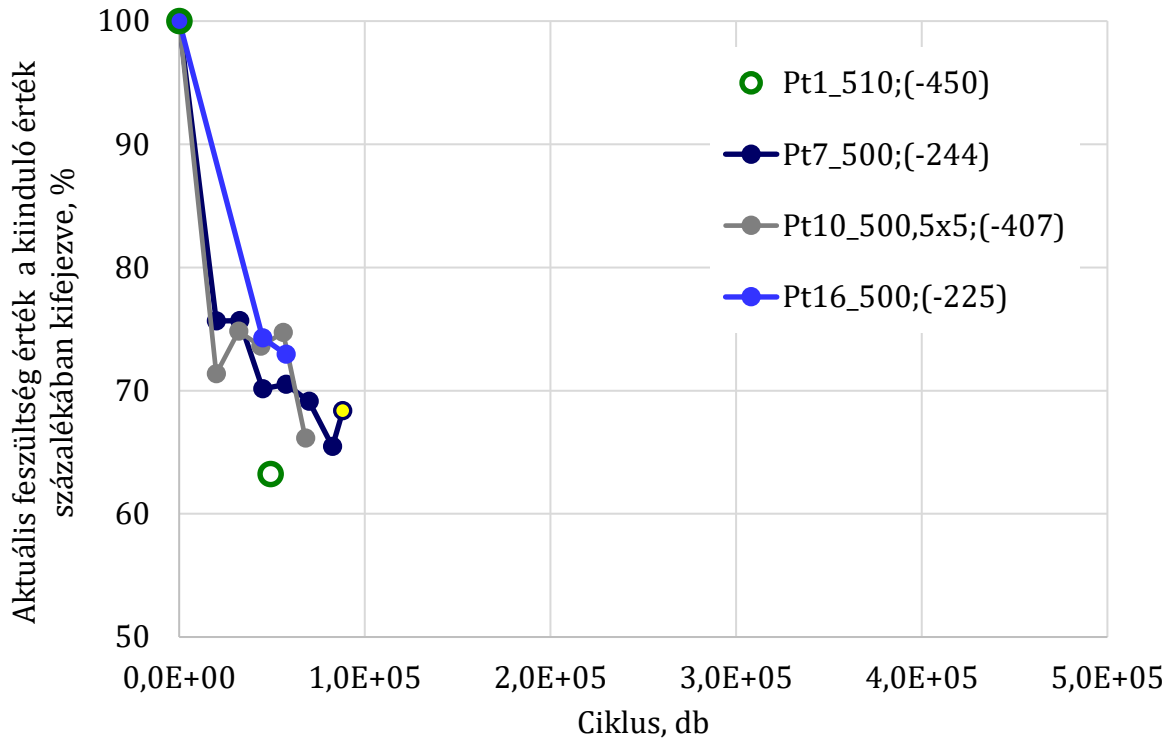


17. próbatétel törés előtt és törés után, a töret mellett mért feszültség értékek pirossal szerepelnek

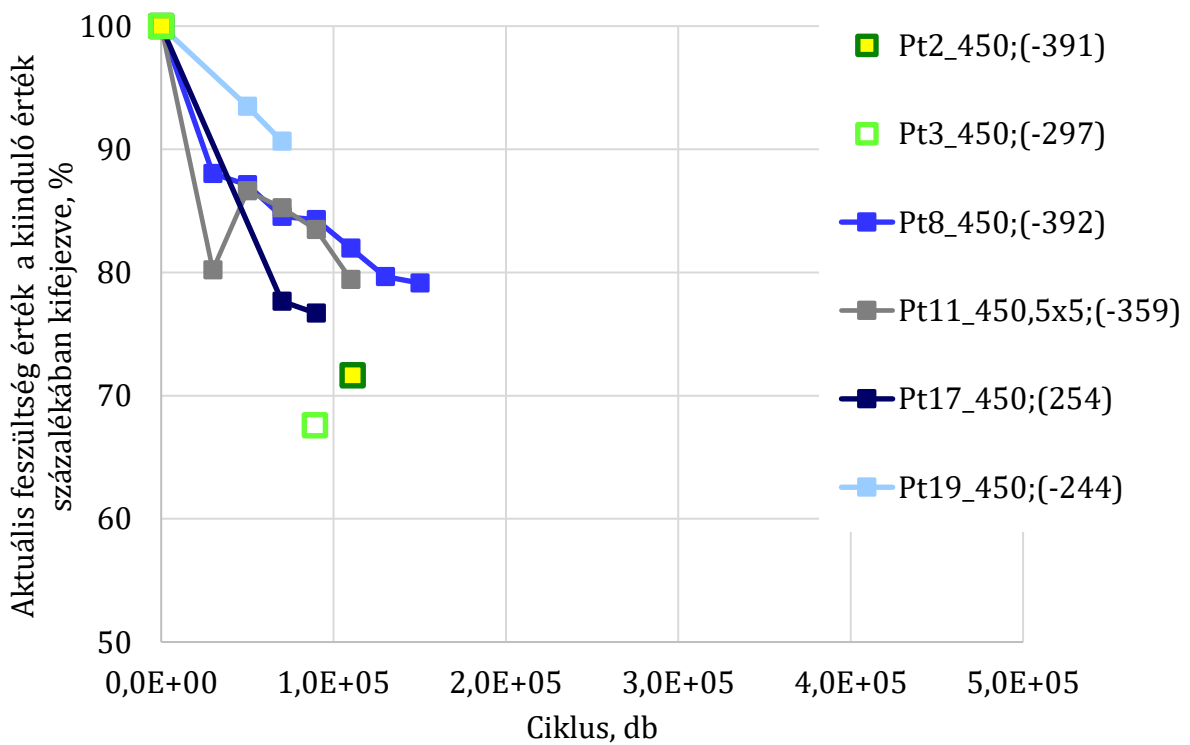


19. próbatétel törés előtt és törés után, a töret mellett mért feszültség értékek pirossal szerepelnek

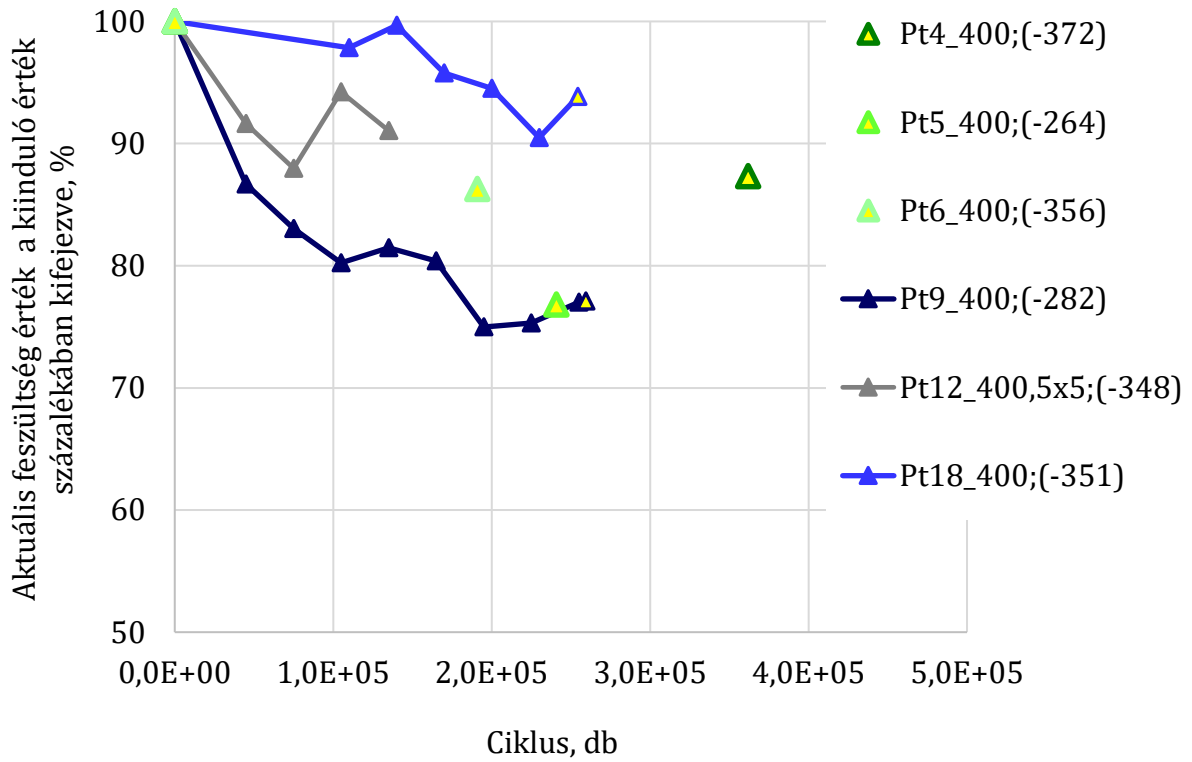
72. ábra A kvadrát henger átmenetben tört koncepcionálisan fárasztott próbatestek törés előtti utolsó és törés utáni eredményei



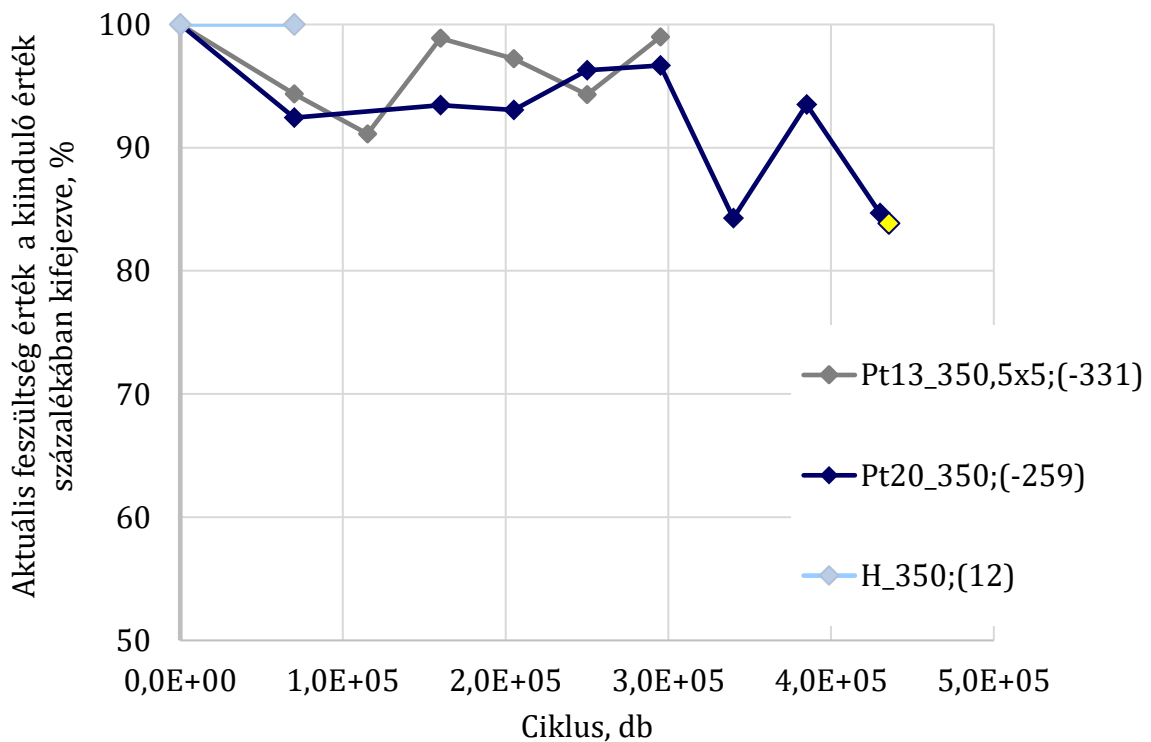
73. ábra Az 500 MPa feszültség szinten fárasztott próbatetek eredményei



74. ábra A 450 MPa feszültség szinten fárasztott próbatetek eredményei



75. ábra A 400 MPa feszültség szinten fárasztott próbatetek eredményei



76. ábra A 350 MPa feszültség szinten fárasztott próbatetek eredményei

A 42CrMo4 minőségű acélon végzett maradó feszültség relaxációs vizsgálatok eredményei alapján a következő megállapításokat tehetjük:

- A törés után lokálisan, a törés 1-2 mm-es környezetében a felületi maradó nyomó feszültség a törés távolabbi környezetétől nagyobb mértékű relaxációt mutat.
- A fárasztási feszültség szint növekedésével csökken a törésig elviselt ciklus szám.
- Az alkalmazott szemcseszórás a fárasztó igénybevétellel szembeni ellenállásban egy legalább négyszeres teljesítményjavulást eredményezett.
- A próbatestek méretbeli különbsége az általam vizsgált mérettartományon és minta csoporton belül nem gyakorol hatást a maradó feszültség leépülésének mértékére.
- Szemben a CM45MV anyagminőségű próbatestek eredményeivel, a monitorozási vizsgálat egyértelműen kimutatja, hogy a szemcseszórás okozta felületi maradó nyomó feszültség értékek átlagának fárasztó igénybevétel hatására bekövetkező leépülése megtörténik. A fárasztási feszültség szint növekedésével nő a maradó feszültség leépülésének mértéke. Még a legnagyobb feszültségi szinten a törést közvetlenül megelőző mérési lépésben kapott legnagyobb maradó feszültség leépülés mértéke sem haladja meg a 35%-ot.
- A ciklusokra vetített feszültség relaxáció nem monoton, az alkalmazott feszültség szinttől függetlenül, a fárasztó igénybevétel kezdeti szakaszán a leggyorsabb
- Az azonos feszültség szinten fárasztott próbatestek eredményei a 400 MPa fárasztási feszültség szint kivételével nagyon hasonló maradó feszültség leépülési tendenciát mutatnak.
- A feszültség leépülésének mértéke függ a kiváltó fárasztó igénybevétel feszültség szintjétől, ám a próbatestek átlagos kiinduló feszültség értéke erre a jelenségre nem gyakorol hatást.

7.2.3. Bemetszett próbatestek maradó feszültségének fárasztó igénybevétel közbeni monitorozása

Az eddigiekben, felületi átlag feszültség értékekkel dolgoztam. A 8, 16, 17 és 19 es számú 42CrMo4 anyagminőségű próbatest eredményei rámutattak a törés környezetében jelentkező lokális maradó nyomó feszültség relaxációra. Az eddigi vizsgálatokból, nem megállapítható, hogy a törés környezetében tapasztalható maradó nyomó feszültség leépülés a törést megelőzően, vagy azután zajlik le. Ezért ebben a fejezetben egy a törés környezetében lezajló folyamatok időbeli vizsgálatára alkalmas kísérlet sorozat eredményeit mutatom be. A 42CrMo4 es anyagminőségű próbatestek 5x5 mintái közül kettőn lokalizált repedési hely, bemetszés környezetében vizsgáltam a maradó feszültség fárasztó igénybevétel közbeni viselkedését. A két próbatestet a négyzetes szelvényű karcsúsított rész közepén, 2 szemközti oldalon 0,5 mm mély 90°-os

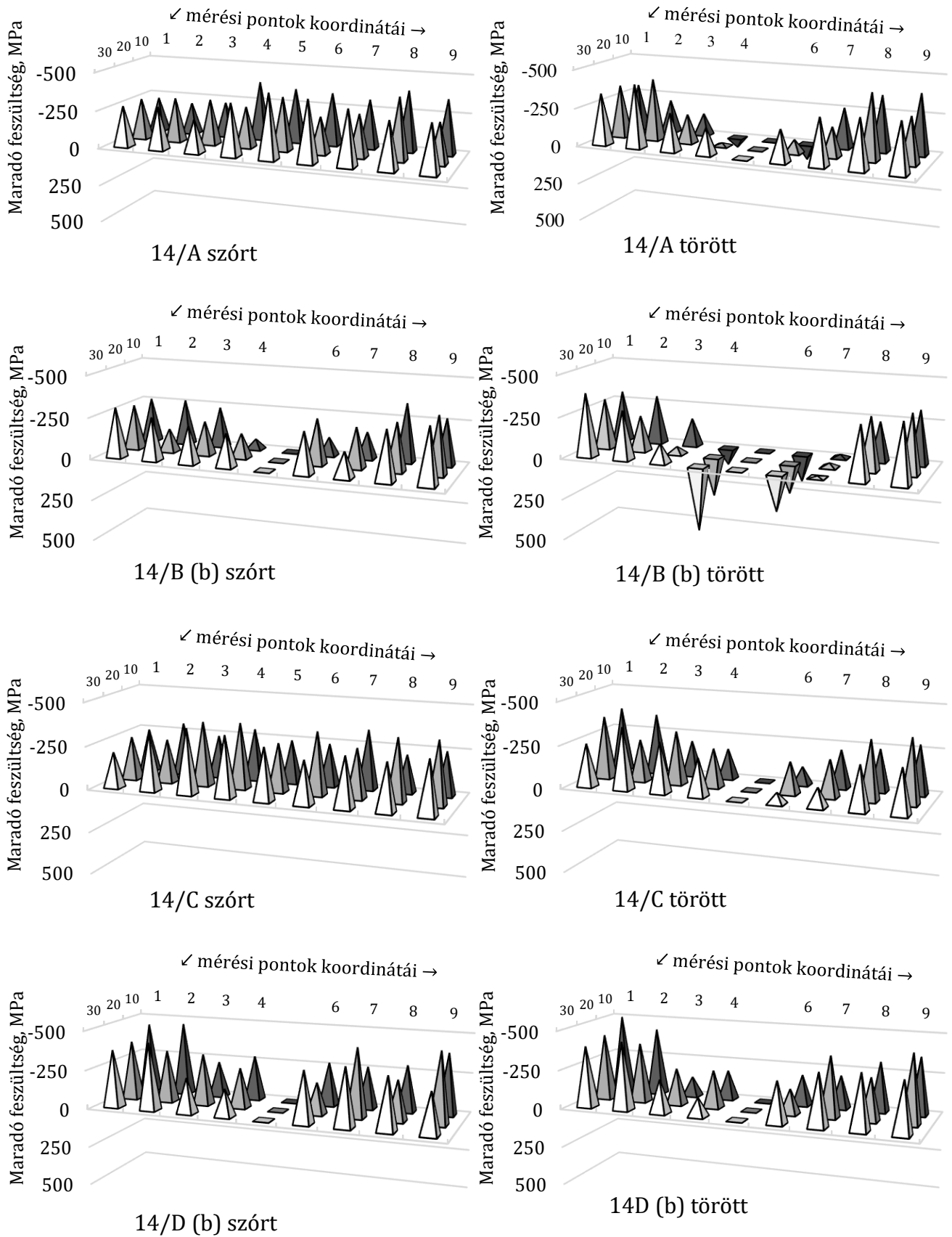
nyílásszögű horonnyal láttam el. A szemközti oldalakon történő bemetszéssel az aszimmetrikus terhelést kívántam elkerülni. A próbatestek mind a négy oldalát, melyeket óramutató járásával megegyezően A, B, C és D betűvel jelöltem monitoroztam 1 mm-es kollimátorral a 52. ábra által bemutatott pontokban, 1 mm-es rászter mentén. Azokon az oldalakon, ahol a bemetszéseket elhelyeztem a rajzon feltüntetett pontok közül a hossz tengelyre merőlegesen elhelyezkedő középső oszlopban lévőket nem vizsgáltam. A törött próbatestek esetén is kihagytam ezeket. Tehát az 1 mm-es rászterháló rácspontjaiban 1 mm-es foltátmérőjű területek maradó feszültség értékeit regisztráltam.

A maradó feszültség állapotot szemcseszórt, bemetszett állapotban, majd a korábbi kísérleteimmel azonosan, a törés bekövetkeztéig a fárasztó igénybevételt megállítva és a maradó feszültséget ismételtén regisztrálva terveztem a próbatesteket elfárasztani. A fárasztó igénybevétel húzó-nyomó jellegű, a terhelési amplitúdó $\sigma_{\max} = 350\text{MPa}$, a feszültség aszimmetriatényező $R_{\sigma} = -1$ ($R_{\sigma} = \sigma_{\min}/\sigma_{\max}$) volt.

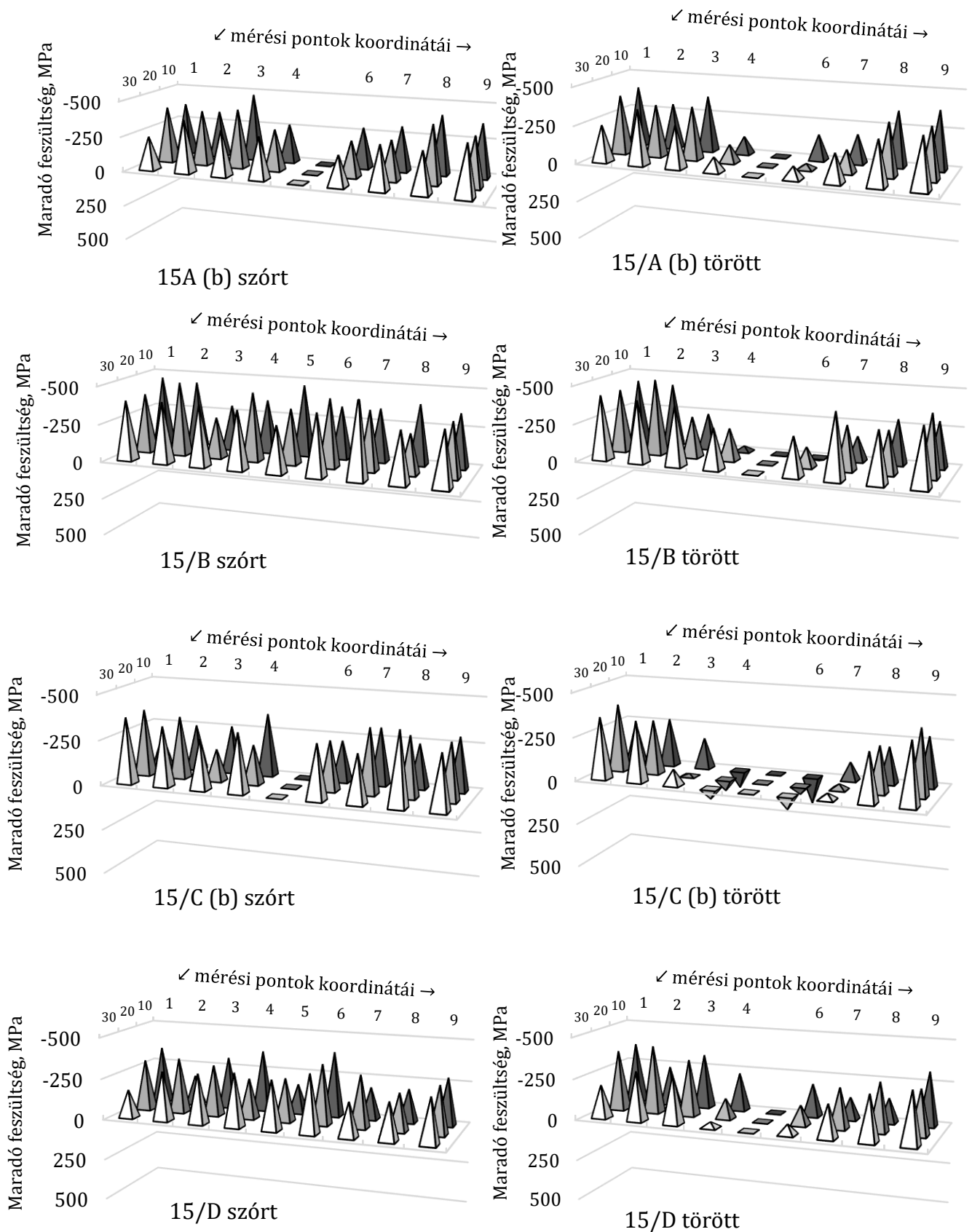
Az első megállási ciklus számot, kiindulva a korábbi kísérleteinkből 75.000 ciklus betáplálása után terveztem. Sajnos a 14-es próbatest 64.000 ismételt terhelést követően eltört. A 15-ös próbatest pedig egy nagyságrenddel kevesebb, 5800 ciklust viselt el törésig.

Mérési eredményeim bemutatása során a próbatestek 4 oldalán található 1 mm-es osztású rászterek mentén mért feszültség értékeket egymás alá kiterítve, baloldalon a szemcseszórt és bemetszett állapotot, jobboldalon az törés utáni eredményeit egyszerre ábrázolom (77. ábra, 78. ábra).

A maradó feszültség törés utáni állapota nagymértékű átalakulásokat mutat. A törés 1-2 mm-es környezetében megfigyelhető a maradó nyomó feszültség leépülése. Mindkét próbatest esetében (14/B; 15/C) találkozhatunk egy olyan bemetszett oldallal, ahol a bemetszés környezetében található maradó feszültségek nem csak leépülést, hanem nagyon érdekes viselkedést, irányváltást mutatnak, vagyis ezekben a rácspontokban húzó jellegű maradó feszültség jelent meg.



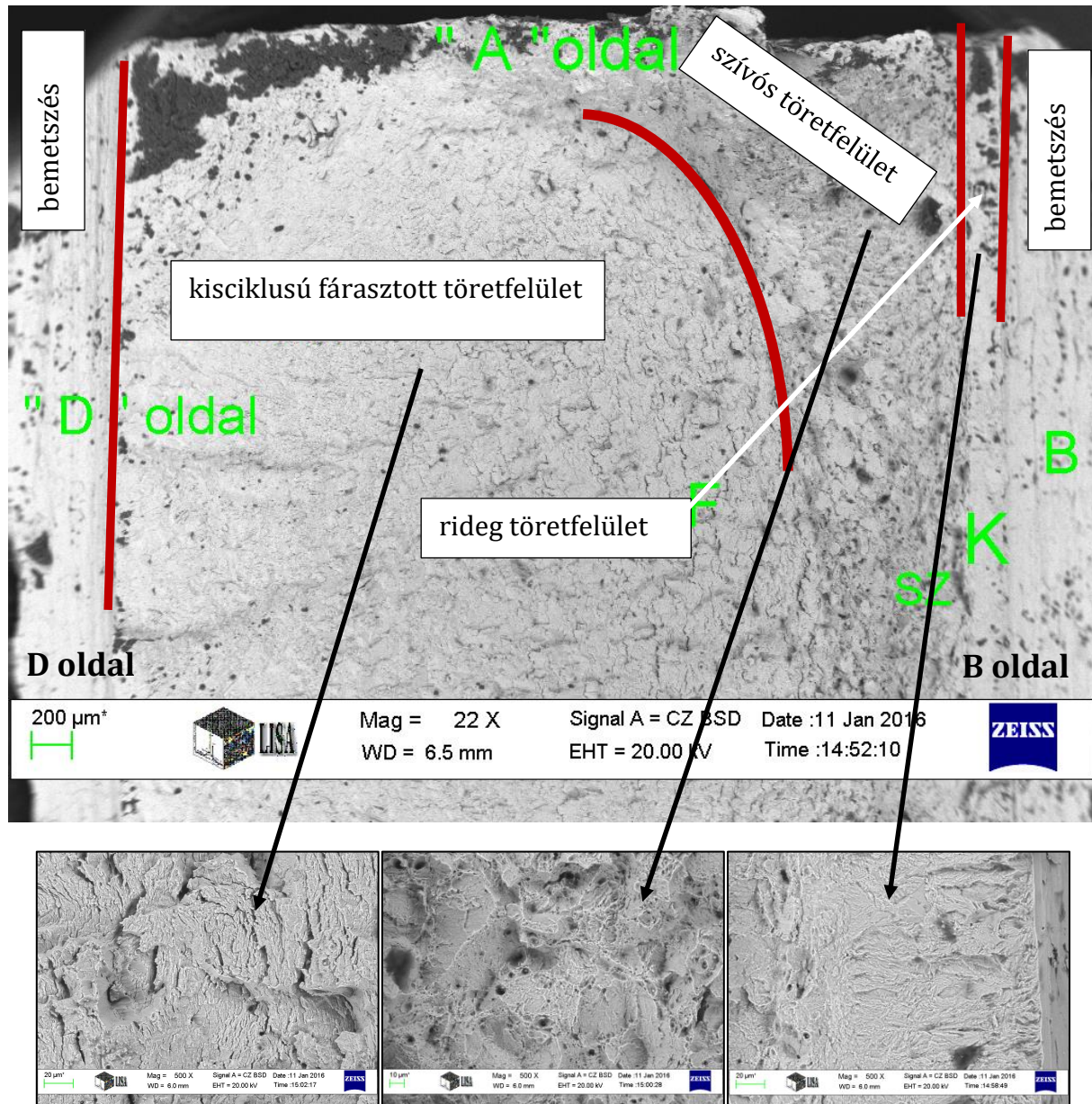
77. ábra A 14-es próbatest négy oldalának szemcseszórt, bemetszett és törött állapotban rögzített maradó feszültség állapota. A bemetszett oldalakat „(b)” jelöli



78. ábra A 15-ös próbatest négy oldalának szemcseszórt, bemetszett és törött állapotban rögzített maradó feszültség állapota. A bemetszett oldalakat „(b)” jelöli

A húzófeszültség kialakulás jelenségének jobb megértéséhez további vizsgálatokat végeztem. Az eltört fázastó próbatestek töretfelületének vizsgálatához a Műszaki Anyagtudományi Kar Fémtechnikai Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézetének Zeiss EVO MA 10-es típusú pásztázó elektron mikroszkópját használtam.

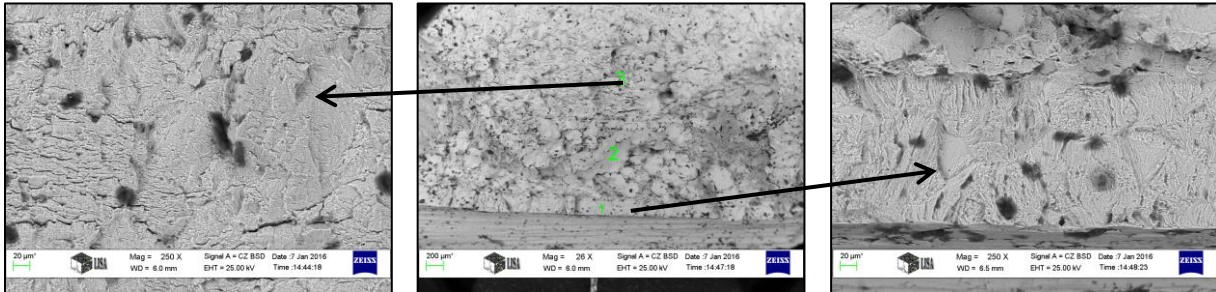
A 14-es 64.000-ciklust elviselő próbatest teljes töretfelületének (79. ábra/ felső) és azok jellemző területeinek nagyított felvételeit mutatja a 79. ábra.



79. ábra A 14-es próbatest teljes töretfelületének (felső kép) és a töret felület tipikus területeinek nagyított SEM felvételei: fáradásos (bal alsó), szívós (középen alul) és rideg (jobb alsó) területek. A teljes töret felületen piros vonallal jelöltem az eltérő töretfelületek határait

A fáradásos repedés a D oldali bemetszésben indult el. Egy nagyobb kiterjedésű fáradásos területet találhatunk (a kis ciklusú fáradás minden jellemzőjét hordozó, tipikus lépcsős, sávos morfológiával, helyenként szemcse határ menti szétválásokkal (79. ábra /bal alsó kép). Találunk egy keskenyebb szívós viselkedést mutató töret felületi

övetet is (79. ábra /középső alsó kép) a rá jellemző gödrös üreges töretfelülettel. A felületen mért feszültségek értékeiben előjelváltást mutató B oldalon lépett ki a repedés, mely egy a töret felületből szabad szemmel is megfigyelhetően kiemelkedő keskeny váll mentén rideg törésre utaló területet mutat (79. ábra /jobb alsó kép).



80. ábra A 15-ös próbatest teljes töretfelülete (középen) és a töret felület tipikus területeinek nagyított SEM felvételei: fáradásos (bal) és rideg (jobb)

A 15-ös számú próbatest töret felületén (80. ábra) nem találunk szívós viselkedésű töretfelületi öveget, de itt is megtalálható a kisciklusú fáradás (bal oldal) és a ridegtörés (jobb oldal) jellemző töret felülete. A 80. ábra középső fotójának alján található a 15-ös próbatest töret felületének rideg töretfelületű sávja.

A 42CrMo4 minőségű acél bemetszett próbatestein végzett maradó feszültség vizsgálatok eredményei alapján a következő megállapításokat tehetjük:

- A bemetszés hatására a próbatestek az azonos feszültség szinten korábban koncepcionálisan fárasztott próbatestek esetén alkalmazott első terhelési egységet (70000 ciklus) sem viselték el, így a feszültség monitorozására nem volt lehetőségünk, a fárasztás előtti és a törött próbatestek maradó feszültség állapotának vizsgálata volt lehetséges.
- A bemetszés közvetlen környezetében a bemetszés hatására a szemcseszórás okozta maradó feszültség leépülése már a fárasztó igénybevétel kezdete előtt megkezdődött.
- A töret felületek vizsgálata alátámasztotta, hogy a két oldalon elhelyezett bemetszés ellenére mind két próbatest esetében a tönkremenetel úgy történt, hogy a törés az egyik bemetszéstől indulva a teljes keresztmetszeten át a másik bemetszésig terjedt.
- A törés utáni felületi maradó feszültség eloszlás az eddigi eredményeket erősíti, a nyomó feszültség leépül és az egyik bemetszés környezetében húzó feszültség kialakulása volt mérhető mind két próbatest esetében.
- A kvadratikus próbatestek nem bemetszett oldalán is megfigyelhető a maradó feszültség leépülése a törés környezetében.

- A töretfelületi vizsgálatok alapján megállapítható, hogy mind a két próbatest esetében a maradó feszültség előjel váltása a ridegen tört oldalon, azaz a repedésnek a keresztmetszetről kilépő helyén jelentkezik.
- Ez a szisztematikus viselkedés arra utal, hogy a tönkremenetel előrehaladott állapotában a lecsökkent teherviselő keresztmetszetben a névleges feszültségnél lényegesen nagyobb feszültségek hatnak, melyek az előjelváltást és a névleges feszültséget meghaladó maradó húzó feszültségek kialakulását lehetővé teszik. [30].

A szemcseszórással létrehozott felületi maradó nyomó feszültség megléte mellett a fáradásos tönkremenetel folyamata a nyomó feszültségek lépülésével kezdődik, a repedés kialakulásának és terjedésének következtében a lecsökkent teherviselő keresztmetszetben a névlegesnél lényegesen nagyobb feszültségek hatnak, melyek húzó maradó feszültség állapotot eredményeznek, aminek következtében a repedésterjedés determinált.

8. ÖSSZEFOGLALÁS

Kutató munkám célja a járműipari alkatrészek élettartam tervezése kapcsán felmerülő egyre nagyobb jelentőséggel bíró direkt maradó nyomó feszültségeknek fáradási élettartalomra gyakorolt hatásának vizsgálata volt. Szemcseszórással különböző minőségű nemesíthető, illetve ausztenites saválló acélon maradó nyomó feszültség állapotot hoztam létre. Ennek az állapotnak változását statikus és ciklikus igénybevétel közben monitoroztam. A statikus igénybevételt négy pontos hajlító berendezésben, a ciklikus igénybevételt különböző feszültség szinteken MTS típusú elektronikusan vezérelt hidraulikus fárasztó berendezésben kiviteleztem. Megvizsgáltam a kényszerített befogóban történő szemcseszórás hatására kialakuló feszültségállapotot különböző minőségű acélokon és a befogóból történő felszabadítást kísérő spontán alakváltozás hatására bekövetkező spontán feszültség változását is. Ezen folyamatokban bekövetkező változásokat az anyagminőségekkel korreláltattam. Ezzel a kísérletsorozattal a szemcseszórt alkatrészek további, jellemzően forgácsoló megmunkálás közbeni viselkedésének megértéséhez szolgáltatam új információt.

A maradó feszültség monitorozását egy X-stress G3R típusú központ nélküli röntgendiffraktométerrel végeztem el, mely roncsolásmentes vizsgálati körülményeket tesz lehetővé, kimondottan ilyen célfeladatokra lett kifejlesztve.

Kísérleti eredményeim alapján megállapításokat tettem a feszültség relaxáció mértéke, a kiinduló feszültség állapot, az alkalmazott fárasztási feszültségi szint, az anyagminőség összefüggéseire vonatkozóan. A fáradásos tönkremeneteli közvetlen megelőző állapot monitorozására bemetszett próbatesteken végeztem fárasztó vizsgálatokat.

A különböző kísérlet sorozatok együttes eredményei alapján a felület tömörített próbatestekben végbemenő fáradásos tönkremenetel folyamatának részleteit újabb ismeretekkel bővítettem.

Kísérleteimhez kapcsolódó vizsgálatok során, illetve a németországi Rennerodban a Strestech GmbH (az Xstress G3R gyártója és európai forgalmazója) laboratóriumában töltött 3 hónapos szakmai gyakorlatom során , ahol is jellemzően a német autógyártásból beérkező alkatrészekeken végeztem méréseket, a központ nélküli röntgendiffraktométerrel történő maradó feszültségvizsgálat módszertanához, a kapott eredmények anyagtudományi problémák tükrében való értelmezéséhez tudtam új ismereteket megfogalmazni. Ezek az ismeretek nem csak hazai de nemzetközi viszonylatban is fontos új eredmények. Mivel módszertani tematikájúak ezért ezzel kapcsolatosan természetesen tézist nem fogalmaztam meg, az ismereteket az irodalmi összefoglalásba építettem be. Az általam alkalmazott berendezés és módszer pillanatnyilag Magyarországon egyedülálló, de a téma fontosságát mutatja, hogy két kiemelkedő járműipari szereplő is tervezi ilyen berendezés vásárlását és a vizsgálati módszernek a minőségellenőrzésbe való beintegrálását.

A szemcseszórások a Rába Járműipari Holding Nyrt. Futómű gyáregységében illetve a ZF Hungária Kft egri üzemében történtek ipari körülmények között. A 3D vizsgálatok az Alcoa Forgings and Extrusions Kft egri üzemében valósultak meg. A próbatestek fárasztására a Miskolci Egyetem Anyagszerkezet-tani és Anyagtechnológiai Intézetének Komplex mechanikai anyagvizsgáló laboratóriumában található, MTS gyártmányú, elektro-hidraulikus anyagvizsgáló rendszeren került sor. A finomszerkezeti (SEM) vizsgálatok és a roncsolás nélküli röntgendiffrakciós maradó feszültségvizsgálatok a Miskolci Egyetem Fémtani Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézetének Lisa laboratóriumában, a szakítóvizsgálatok pedig a mechanikai anyagvizsgáló laboratóriumában mely laboratóriumok a NEKIFUT országos regiszterben stratégiai kutatási infrastruktúra besorolásúak, valósultak meg.

9. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK, TÉZISEK

1. Bemetszett, szemcseszórt fárasztó próbatestek bemetszésének környezetében a felszínen mérhető maradó feszültség eloszlás 1x1 mm-es felbontású monitorozása, vagyis a szórt és törésig fárasztott állapotú, röntgendiffrakcióval meghatározott maradó feszültség térképezése, töretvizsgálattal kiegészítve, alkalmas a tönkremenetel, azaz a repedés terjedés majd törés környezetében lezajló maradó feszültség leépülés időbeliségének megállapítására, és a tönkremenetel folyamatának meghatározására.

2. Különböző szilárdságú (nemesített 42CrMo4, melegben hengerelt X6CrNiMoTi17-12-2 ausztenites korrozióálló és nemesített MIL-A 46100 mikroötvözött, nagy szilárdságú acél), azonos geometriájú (100x20x3 mm) lapos lemez próbatestek, négy pontos befogóban történő, azonos körülmények közötti, merev tengelytestekre optimalizált paraméterű, egyoldalú szemcseszórását követően felületi maradó nyomó feszültségállapot alakul ki. A próbatestek befogóból történő kiszabadítása együtt jár spontán alakváltozással és spontán feszültségállapot változással. A végbemenő folyamatokkal kapcsolatos megállapítások:

2.1. Az azonosan szemcseszórt, különböző anyagminőségű próbatestekben kialakuló maradó feszültség értéke az alapanyag szilárdsági mutatóival korrelál, nagyobb folyáshatárú alapanyag, szemcseszórást követően nagyobb mértékű nyomó feszültség megtartására képes.

2.2. A spontán feszültség változás során azzal korreláló deformáció történik, melynek következtében a szórt oldalon mérhető, nyomó feszültségek értéke csökken, a csökkenés mértéke a felületen nem egyforma, a darabok közepén a legnagyobb, azonos anyagminőség esetén azonos jelleget és mértéket mutat. A csökkenés mértéke eltérő anyagminőség esetén eltérő, legnagyobb az eredendően legkisebb feszültség értéket tartó ausztenites korrozióálló mintánál figyelhető meg, ahol a nyomó feszültség előjelet is vált.

2.3. A spontán feszültség változást kísérő deformációból adódóan a szórással ellentétes oldalon a szemcseszórással előidézett maradó feszültségek átlagait nagymértékben meghaladó, nyomó feszültségek alakulhatnak ki. Vagyis a spontán deformációval együttjáró spontán feszültségváltozás nem jelenti feltétlenül a feszültségek leépülését, sőt együtt járhat ellentétes előjelű feszültség felépülésével is.

2.4. A befogóból történő felszabadítás hatására bekövetkező feszültség változások jól modellezik egy alakos mintadarab szemcseszórását követő részleges megmunkálás hatására bekövetkező feszültség állapot változását és az ekkor bekövetkező vetemedés kialakulását magyarázzák.

3. Nemesített 42CrMo4 minőségű, sörétezés előtti 7x7 mm és 5x5 mm keresztmetszetű, kvadratikus karcsúsítású, módosított fárasztó próbatest felületén ipari körülmények között végzett, merev tengelytestekre optimalizált paraméterű szemcseszórás hatására felületi átlagban 200-400 MPa nagyságrendű maradó nyomó feszültség jön létre. A maradó feszültség $R=-1$ feszültség aszimmetria tényezőjű ciklikus (fárasztó) igénybevétel hatására leépül (relaxál). A végbemenő folyamatokkal kapcsolatos megállapítások:

3.1. Az alkalmazott szemcseszórás a fárasztó igénybevétellel szembeni ellenállásban egy legalább négyszeres élettartam javulást eredményezett. A fárasztási feszültség szint 350-500 MPa mérettartományon belüli növekedésével csökken a törésig elviselt ciklus szám.

3.2. A próbatestek méretbeli különbsége az általam vizsgált mérettartományon belül nem gyakorol hatást a fárasztási ciklus alatt történő maradó feszültség leépülésének mértékére.

3.3. A fárasztási feszültség szint 350-500 MPa értéktartományon belüli növekedésével, felületi átlagban nő a maradó feszültség leépülésének mértéke és üteme, a kiinduló maradó feszültség nagyságától függetlenül. A felületi átlagban meghatározott leépülés mértéke még a legnagyobb (500 MPa) fárasztási feszültség szinten sem haladta meg a 35%-ot a törés bekövetkezésekor.

3.4. A ciklusokra vetített feszültség relaxáció üteme nem monoton, az alkalmazott feszültség szinttől függetlenül, a fárasztó igénybevétel kezdeti szakaszán a leggyorsabb. Az egyes fárasztási feszültség szinteken megismételt tesztek relaxációjának monitorozott folyamata jó egyezést mutat, vagyis a feszültség szint ismeretében a relaxáció folyamata prognosztizálható.

4. Nemesített (42CrMo4), kvadratikus, 5x5 mm keresztmetszetű, két szemközti oldalon 90°-os nyílásszögű, 0,5 mm mélységű bemetszett próbatest, merev tengelytestekre optimalizált paraméterű szemcseszórással létrehozott felület közeli maradó nyomó feszültségének, $R=-1$ feszültség aszimmetria tényezőjű ciklikus (fárasztó) igénybevétel hatására bekövetkező relaxációjával kapcsolatos megállapítások:

4.1. A maradó feszültség relaxációja a szemcseszórás után, az igénybevétel előtt, már a bemetszés kialakításával elkezdődik. A fárasztó igénybevétel hatására a maradó nyomó feszültség relaxációja lokálisan tovább folytatódik, minek következtében a későbbi törést okozó repedés környezetében a nyomó feszültség relaxál, a maradó feszültség előjelet is válthat, húzó feszültség alakulhat ki.

4.2. A húzó maradó feszültség megjelenése a fáradásos tönkremenetel ridegtörési (utolsó) szakaszának megindulását mutatja. Ezzel bizonyítható, hogy szemcseszórta alkatrészek fáradásos tönkremenetelénél a feszültség relaxáció lokális maximuma determinálja a repedés keletkezésének helyét.

10. AZ EREDMÉNYEK HASZNOSÍTHATÓSÁGA

A maradó feszültség felületi eloszlásának igénybevétel közbeni monitorozásához roncsolásmentes vizsgálati módszert használtam. Kutatásaimat széleskörűen elterjedt ötvözeteken végeztem. A vizsgálataimhoz használt próbatestekben ipari körülmények között hoztam létre a vizsgálataim tárgyát, a direkt maradó nyomó feszültséget. Statikus és ciklikus vizsgálatimhoz is az ipari gyakorlat által gyakran alkalmazott vizsgáló berendezéseket használtam. Ezen körülmények együttesen járulnak hozzá, hogy eredményeim az ipari szereplők számára saját hasonló problémáik megértéséhez megoldásához segítséget jelentsenek.

A statikus vizsgálataimhoz használt próbatestek indirekt demonstrálták az aszimmetrikus maradó feszültség tartalom és képlékeny alakváltozás következményeit. Eredményeim rámutatnak az anyagi minőség és a mikroszerkezeti állapot direkt maradó nyomó feszültség létrehozásában betöltött jelentőségére. Kísérleti bizonyítást nyert a kialakulni képes maradó feszültség állapot és a mechanikai szilárdság kapcsolata. Gyakorlati példát adtam a mechanikai szilárdságot befolyásolni képes minőségi és mikroszerkezeti állapoti különbségekre is, bele értve akár a felületi ötvözők kiegészét is.

A ciklikus igénybevétel közben végzett maradó feszültség monitorozási vizsgálataim alkalmasak a nemesített alapanyagban alkalmazott maradó nyomó feszültség tartalom üzemi közbeni relaxációjának előre jelzésére. Meggyőződésem, hogy eredményeim alkalmasak egy kiterjesztett, a maradó feszültség relaxáció jelenségét globálisan, a befolyásoló tényezőket paraméteresen kezelni tudó egyenlet megalkotásához.

A bemetszett próbatesten végzett eredményeim rámutattak a maradó feszültség relaxáció lokális maximuma és a repedés keletkezés közötti összefüggésre.

11. SUMMARY

The aim of the dissertation is to contribute to the better understanding of compressive residual stress relaxation during external mechanical, operational load. The residual stress evolution of three different kinds of materials (hardened 42CrMo4, MIL-A 46100, and hot rolled X6CrNiMoTi17-12-2) in plate specimens was represented. The specimens were clamped in a sample holder and treated by shot peening in an industrial way. Only one side of the specimens were treated. The residual stress state of the shot peened surface was monitored along a 4x4 mm grid in clamped state. After the recovery of the specimens from the sample holder was monitored as well. The distortion of the samples was evaluated by 3D scanning. Correlation was found between the measured stress changes of the recovery and the distortions and the yield strength.

Fatigue specimens were made of hardened 42CrMo4 steel, with different extent of slenderizing. The quadratic middle cross sections of the specimens were 7x7 and 5x5 mm. The specimens were shot peened in an industrial way. The residual stress state of the specimens was investigated after the shot peening treatment. The specimens were supposed to fatigue load at different stress amplitudes. 500, 450, 400 and 350 MPa stress amplitudes were applied. The fatigue load after a certain number of cycles was stopped and the residual stress state was monitored again. This method was repeated until the crack of all specimens. This way residual stress measurements were carried out after the shot peening and after each stop of the fatigue load. The residual stress data were illustrated in the function of the cycle number in the percentage of the initial residual stress value, which belongs to the shot peened state. Due to the higher fatigue stress amplitude the residual stress relaxation showed an increasing tendency. During the fatigue load the velocity of the stress relaxation was decreased. The biggest residual stress relaxation was occurred until the early several thousand cycles.

Two symmetrically notched fatigue specimens were also investigated. The 5x5 quadratic middle part was notched on two opposite sides. The residual stress distribution in the 4 mm environment of the notches was monitored on all the four side of the samples, with a high spatial resolution along a 1mm grid. The residual stress state was monitored after the shot peening and in until crack fatigued station. In the cracked state both specimens had a notched side, where the compressive residual stress not only decreased, but transferred into a tensile. The crack surface was investigated by SEM. Low cycle fatigue specifics was found on both cracked surfaces. The cracks were propagated only from one direction. The residual stress transformation is clearly connected to the last part of the failure, to the brittle fracture.

12. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] A. D. Krawitz, Introduction to diffraction in materials science and engineering, USA: John Wiley & Sons, INC, 2001.
- [2] ASM International, Heat treating ASM Handbook Vol. 4., USA: ASM International, 1991.
- [3] P. Bárczy és E. Fuchs, Metallográfia I., Budapest: Tankönyvkiadó, 1981.
- [4] ASM International, Handbook of Residual Stress and Deformation of Steel, USA: ASM International, 2002.
- [5] Krauss, Principles of heat treatment of steel, Ohio: ASM Metals Park, 1980.
- [6] ASM International, Cast Irons ASM Specialty Handbbok, USA: ASM International, 1996.
- [7] J. Davis, Surface hardening of steels, USA: ASM International, 2002.
- [8] R. Haimbaugh, Induction Heat Treating, USA: ASM International, 2001.
- [9] D. Cseh, M. Benke, V. Mertinger és A. Czibik, „Residual stress evolution during the manufacturing process of bearing rings,” *Advanced Materials Research*, pp. 664-669., 2014.
- [10] I. L. May, „Case Studies of three fatigue failure evaluations in aircraft,” *Procedia Engineering*, %1. kötet2, pp. 59-64, 2010.
- [11] F. Viganò, A. Manes és M. Giglio, „Effect of cold driving process on fatigue life of helicopter fuselage joints,” *Procedia Engineering*, %1. kötet2, pp. 639-647, 2010.
- [12] L. Molent és S. Barter, „The lead fatigue crack concept for aircraft structural integrity,” *Procedia Engineering*, %1. kötet2, pp. 363-377, 2010.
- [13] S. J. Findlay és N. D. Harrison, „Why aircraft fail,” *Materials Today*, pp. 18-25, 2002.
- [14] U. Martin, I. Altenberger, B. Scholtes, K. Kremmer és H. Oettel, „Cyclic deformation and near surface microstructures of normalized shot peened steel,” *Material Science and Engineering*, pp. 69-80, 1997.
- [15] S. Timoshenko, History of strength of materials, Dover: Dover Publications, 1983.
- [16] R. Smith és S. Hillmansén, „A brief historical overview of the fatigue of railway axles,” *Proc Inst Mech Engng*, p. 267-77, 2004.

- [17] I. Dr. Gál, M. Kocsisné dr. Baán, G. Lenkeyné dr. Bíró, J. Dr. Lukács, M. Dr. Marosné dr. Berkes, G. Dr. Nagy és M. Dr. Tisza, Anyagvizsgálat, Miskolc: Miskolci Egyetemi Kiadó, 2005.
- [18] J. Lukács, G. Nagy, I. Harmati, R. Koritárné Fótos és Z. Kuzsella Lászlóné Koncsik, Szemelvények a tása témaköréből mérnöki szerkezetek integri, Miskolc: Miskolci Egyetem, 2012.
- [19] R. I. Stephens, A. Fatemi, R. R. Stephens és H. O. Fuchs, Metal fatigue in Engineering 2nd Edition, USA: John Wiley & Sons, 2001.
- [20] M. Cioffi, H. V. G. Volpiano és M. Rezende, „Carbon fiber non-crimp multi-axial reinforcement and epoxy mono-component system composite: fatigue behavior,” *Procedia Engineering*, %1. kötet2 , pp. 341-348, 2010.
- [21] A. Launaya, Y. Marco, M. Maitournam, I. Raoult és F. Szmytka, „Cyclic behavior of short glass fiber reinforced polyamide for fatigue life prediction of automotive components,” *Procedia Engineering*, %1. kötet2 , pp. 901-910, 2010.
- [22] X. You, Z. Wang, Q. Wang, M. Cao , M. Shen és W. Huang , „Effect of Shot Blasting on Fatigue Strength of Q345B Steel Plate with a Central Hole,” *Metals*, %1. kötet, összesen: %27(12), , pp. 1-10, 2017.
- [23] D. Paolino, A. Tridello, H. Geng, G. Chiandussi és M. Rossetto, „Duplex S-N fatigue curves: statistical distribution of the transition fatigue life,” *Frattura ed Integrità Strutturale*, %1. kötet30, pp. 417-423, 2014.
- [24] J. A. F. d. O. Correia, B. A. S. Pedrosa, P. C. Raposo, A. M. P. D. Jesus, H. M. d. S. Gervásio, G. S. Lesiuk, C. A. d. S. Rebelo és R. A. B. Calçada, „Fatigue Strength Evaluation of Resin-Injected Bolted Connections Using Statistical Analysis,” *Engineering*, %1. kötet3, pp. 795-805, 2017.
- [25] H. Mughrabi, „Microstructural mechanisms of cyclic deformation, fatigue crack initiation and early crack growth,” *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 2015..
- [26] S. K. Paul, N. Stanford, A. Taylor és T. Hilditch, „The effect of low cycle fatigue, ratcheting and mean stress relaxation on stress–strain response and microstructural development in a dual phase steel,” *International Journal of Fatigue*, %1. kötet80, pp. 341-348, 2015.
- [27] B. Pyttel, D. Schwerdt és C. Berger, „Very high cycle fatigue – Is there a fatigue limit?,” *International Journal of Fatigue*, %1. kötet33, pp. 49-58, 2011.
- [28] ASM, Metals Handbook, V 9, USA: ASM International, 1974.
- [29] K. Gopinath, G. R.K., S. J.K., R. P.K. és G. R.N., „Designing P92 grade martensitic steel header pipes against creep–fatigueinteraction loading condition: Damage

- micromechanisms," *Materials and Design* 86, pp. 411-420, 2015.
- [30] D. Cseh, V. Mertinger és J. Lukacs, „Residual Stress Evaluation Induced by Fatigue Crack in Shot Peened, Notched Specimens,” *Materials Science Forum*, pp. 280-285, 2017.
- [31] B. Pyttel , I. Brunner , D. Schwerdt és C. Berger, „Influence of defects on fatigue strength and failure mechanisms in the,” *International Journal of Fatigue*, pp. 107-118, 2012.
- [32] A. Nestler és A. Schubert, „Effect of machining parameters on surface properties in slide,” in *Elsiever Ltd*, 2015.
- [33] W. Z. Zhuang és G. R. Halford, „Investigation of residual stress relaxation under cyclic load,” *International Journal of Fatigue*, %1. kötet23, pp. 31-37, 2001.
- [34] N. Kalentics, E. Boillat, P. Peyre, C. Gorny és C. Kenel, „3D Laser Shock Peening – A new method for the 3D control of residual stresses in Selective Laser Melting,” *Materials & Design*, %1. kötet130, pp. 350-356, 2017.
- [35] K. Palaniradja, N. Alagumurthi és V. Soundararajan, „Residual Stresses in Case Hardened Materials,” *The Open Materials Science Journal*, %1. kötet, összesen: %24, , pp. 92-102, 2010.
- [36] Y. Ochi, T. Matsumura, T. Ikarashi, K. Masaki, T. Kakiuchi, Y. Sano és T. Adachi, „Effects of laser peening treatment without protective coating on axial fatigue property of aluminum alloy,” *Procedia Engineering*, %1. kötet2 , pp. 491-498, 2010.
- [37] D. Coupard, T. Palin-luc, P. Bristiel, V. Ji és C. Dumasd, „Residual stresses in surface induction hardening of steels:Comparison between experiment and simulation,” *Material Science and Engineering*, %1. kötet487 , p. 328–339, 2008.
- [38] D. Paquet, J. Lantaigne és M. Bernard, „A new experimental method for the introduction of a predetermined amount of residual stresses in fatigue test specimens.,” *ASME Appl Mech*, pp. 79: 1-13, 2012.
- [39] „www.globalspec.com,” 2016. [Online]. Available: https://www.google.hu/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjL-I2V4ofNAhVEsxQKHVyPChYQjRwIBw&url=http%3A%2F%2Fwww.globalspec.com%2Flearnmore%2Fcontract_manufacturing_fabrication%2Fcoating_services_finishing_services%2Fbuffin.
- [40] „www.wpctreatment.com,” 2016. [Online]. Available: <http://www.wpctreatment.com/friction.htm>.

- [41] „abrasivmuta,” 15. január 2016. [Online]. Available: <http://www.abrasivmuta.si/angindex.html>.
- [42] D. Cseh és V. Mertinger, „X-Ray Diffraction Measurements of Residual Stress Induced by Surface Compressing Methods,” *Materials Science Forum Vol. 729*, pp. pp 199-204, 2013.
- [43] D. Cseh, V. Mertinger és J. Sólyom, „Szemcseszórás okozta maradó feszültség vizsgálata röntgendiffrakcióval,” Dunaújváros, 2011.
- [44] Y. C. Shin és Y. Tian, „Laser-assisted burnishing of metals,” *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, pp. 14-22, 2006.
- [45] D. Mahajan és R. Tajane, „A Review on Ball Burnishing Process,” *International Journal of Scientific and Research Publications*, pp. 1-8, 2013.
- [46] M. R. S. John és B. K. Vinayagam, „Optimization of Ball Burnishing Process on Tool Steel (T215Cr12) in CNC Machining Centre Using Response Surface Methodology,” *Arabian Journal for Science and Engineering*, %1. kötet36, p. 1407–1422, 2011.
- [47] P. J. Withers és H. Bhadeshia, „Residual Stress, Part 1 Measurement techniques,” *Material Science and Technology Vol7*, pp. 355-365, 2001 April.
- [48] F. Gyimesi, A. Szigethy, V. Borbély és R. T. Kiss, „New measurement possibilities of deformation anomalies and complete stress field distributions by portable digital-holographic gauge camera,” 21st European Conference on Fracture, ECF21, 20-24 June 2016, Catania, Italy, 2016.
- [49] H. P. Klug és L. E. Alexander, *X-ray diffraction procedures*, New York: John Wiley & Sons, 1974.
- [50] M. Sepsi, D. Cseh, Á. Filep, M. Benke és V. Mertinger, „Innovation Methods for Residual Stress,” *Springer International Publishing AG*, pp. 483-497, 2017.
- [51] D. Cseh, V. Mertinger és M. Benke, „Innovative Residual Stress Measurements by X-Ray Diffraction,” *Materials Science Forum*, pp. 303-308, 2015.
- [52] X.-f. Xie, W. Jiang és Y. Luo, „A model to predict the relaxation of weld residual stress by cyclic load: Experimental and finite element modeling,” *International Journal of Fatigue*, %1. kötet95, 2017.
- [53] M. Kattoura, S. R. Mannava, D. Qian és V. K. Vasudevan, „Effect of laser shock peening on elevated temperature residual stress, microstructure and fatigue behavior of ATI 718Plus alloy,” *International Journal of Fatigue*, %1. kötet104, 2017.
- [54] P. Juijerm és . I. Altenberger, „Effect of temperature on cyclic deformation

- behavior and residual stress relaxation of deep rolled under-aged aluminium alloy AA6110," *Materials Science and Engineering*, %1. kötet452, 2007.
- [55] I. Altenberger, I. Nikitin, P. Juijerm és B. Scholtes, „Residual stress stability in high temperature fatigued mechanically surface treated metallic materials,” *Materials Science Forum*, %1. kötetVols., pp. 524-525, pp 57-62, 2006.
- [56] M. James, M. Newby, D. Hattingh és A. Steuwer, „Shot-Peening of Steam Turbine Blades: Residual Stresses and their Modification by Fatigue Cycling,” %1. kötet, összesen: %22 441-451, 2010.
- [57] K. Dalaei, B. Karlsson és L.-E. Svensson, „Stability of residual stresses created by shot peening of pearlitic steel and their influence on fatigue behaviour,” %1. kötet2613–622, 2010.
- [58] P. Juijerm és I. Altenberger, „Residual stress relaxation of deep-rolled Al–Mg–Si–Cu alloy during cyclic loading at elevated temperatures,” %1. kötet55 1111–1114, 2006.
- [59] M. Benedetti, V. Fontanari és B. D. Monelli, „Plain fatigue resistance of shot peened high strength aluminium alloys: effect of loading ratio,” *Procedia Engineering*, %1. kötet2 , pp. 397-406, 2010.
- [60] H. Xie, X. Donga, F. Peng, Q. Wang, K. Liu, X. Wang és F. Chen, „Investigation on the electrically-assisted stress relaxation of AZ31Bmagnesium alloy sheet,” *Journal of Materials Processing Technology*, %1. kötet227, 2016.
- [61] Y. Wang, J. Dong, M. Zhang és Z. Yao, „Stress relaxation behavior and mechanism of AEREX350 and Waspaloy superalloy,” *Materials Science & Engineering A*, %1. kötet687, 2016.
- [62] C. Wang, C. Jiang, Y. Zhaoa, M. Chen és V. Ji, „Surface mechanical property and residual stress of peened nickel-aluminum bronze determined by in-situ X-ray diffraction,” *Applied Surface Science*, %1. kötet420, 2017.
- [63] X. Ren, W. Zhou, S. Xu, S. Yuan, N. Ren, Y. Wang és Q. Zhan, „Iron GH2036 alloy residual stress thermal relaxation behavior in laser shock processing,” *Optics&LaserTechnology*, %1. kötet74, 2015.
- [64] P. Fu és C. Jiang, „Residual stress relaxation and micro-structural development of the surface layer of 18CrNiMo7-6 steel after shot peening during isothermal annealing,” *Materials and Design*, %1. kötet56, 2014.
- [65] E. Macherauch és V. Hauk, *Residual stress in Science Technology Vol 2*, Németország: I.R. Publications, 1987.
- [66] K. Dalaeia, B. Karlssona és L.-E. Svenssona, „Stability of shot peening induced residual stresses and their influence on fatigue lifetime,” *Materials Science and*

-
- Engineering A*, pp. 1008-1015, 2010.
- [67] J.-C. Kim, S.-K. Cheong és H. Nog, „Residual stress relaxation and low- and high-cycle fatigue behavior of shot-peened medium-carbon steel,” *International Journal of Fatigue*, pp. 114-122, 2013.
- [68] J.-C. Kim, S.-K. Cheong és H. Nog, „Proposed fatigue damage measurement parameter for shot-peened carbon steel based on fatigue crack growth behavior,” *International Journal of Fatigue*, pp. 97-106, 2014.
- [69] I. Nikitin és M. Besel, „Correlation between residual stress and plastic strain amplitude during low cycle fatigue of mechanically surface treated austenitic stainless steel AISI 304 and ferritic–pearlitic steel SAE 1045,” *Materials Science and Engineering A*, pp. 297-303, 2008.
- [70] D. Cseh és V. Mertinger, „Compressive residual stress relaxation in hardened steel during cyclic and static load,” %1. kötet843, %1. számIOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series, 2017.
- [71] D. Cseh, V. Mertinger és J. Lukacs, „Residual Stress Evolution During Fatigue Test of a Shoot Peened Steel Sample,” *Materials Science Forum*, %1. kötetVol. 752, pp. 95-104, 2013.
- [72] „www. reliasoft.com,” 1992. [Online]. Available: <http://www.reliasoft.com/newsletter/v8i2/fatigue.htm>.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton szeretnék mindenekelőtt köszönetet mondani témavezetőmnek Dr. Mertinger Valériának, kinek szakmai és emberi támogatását tudományos diákköri tevékenységem kezdete óta élvezem. Az ő töretlen ösztönzése nélkülözhetetlen volt PhD dolgozatom elkészítésében.

Hálasan köszönöm Dr. Lukács János és Dr. Nagy Gyula fárasztásos kísérleti munkám előkészítésében és kiértékelésében nyújtott szakmai segítségét. Köszönöm a Miskolci Egyetem Gépészmérnöki és Informatikai Karán működő Anyagszerkezetani és Anyagtechnológiai Intézetnek, hogy lehetővé tette számomra a fárasztásos vizsgálatok kivitelezését, és munkatársának, Szentpéteri Lászlónak a fárasztásos vizsgálatok fárasztó igénybevételének fizikai megvalósításában nyújtott közreműködését.

Köszönöm segítségét a Műszaki Anyagtudományi Kar, és a Fémtani Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai tanszék minden munkatársának, kollégáimnak, akik az évek során vizsgálataim és kutatási munkám elvégzéséhez munkájukkal, szakmai tudásukkal hozzájárultak. Köszönöm Bán Róbertnek a próbatestek és a befogók elkészítését, Dr. Mikó Tamásnak a szakító kísérletek elvégzését és a hőkezelésben nyújtott segítséget, Márkus Zoltánnak a metallográfiai vizsgálatokhoz készített csiszolatokat, Kovács Árpádnak a pásztázó elektron mikroszkópos felvételeket, Dr. Benke Mártonnak a szakmai konzultációkat.

Próbatesteim szemcseszórásáért hálás vagyok Dr. Tancsics Ferencnek a Rába Járműipari Holding Nyrt egykori munkatársának és természetesen a vállalatnak. Szintén köszönöm a szemcseszórásban nyújtott segítségét Saláta Máriának és a ZF Hungária Kftnek. Köszönöm Nyitrai Szabolcsnak az Alcoa Forgings and Extrusions munkatársának a 3D mérések elvégzésében nyújtott segítségét.

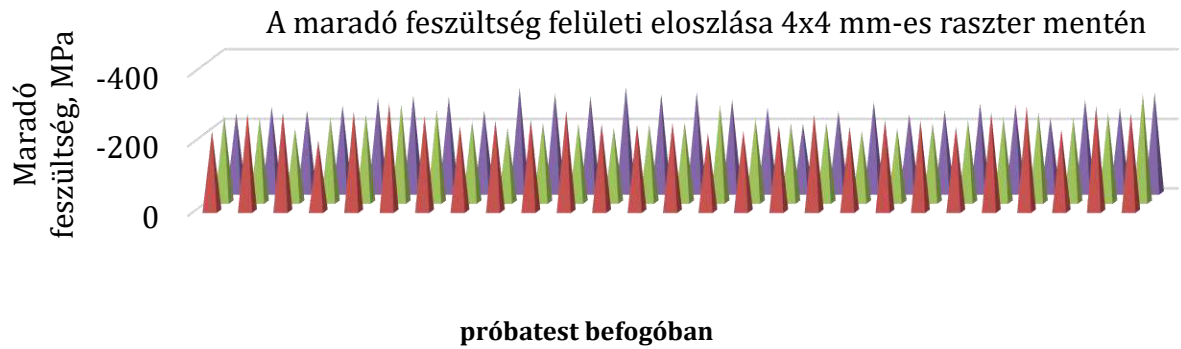
Hálás szeretettel köszönöm szüleimnek, testvéreimnek és feleségemnek, hogy kutatási munkám sikerének érdekében mindig és mindenben támogattak.

MELLÉKLET

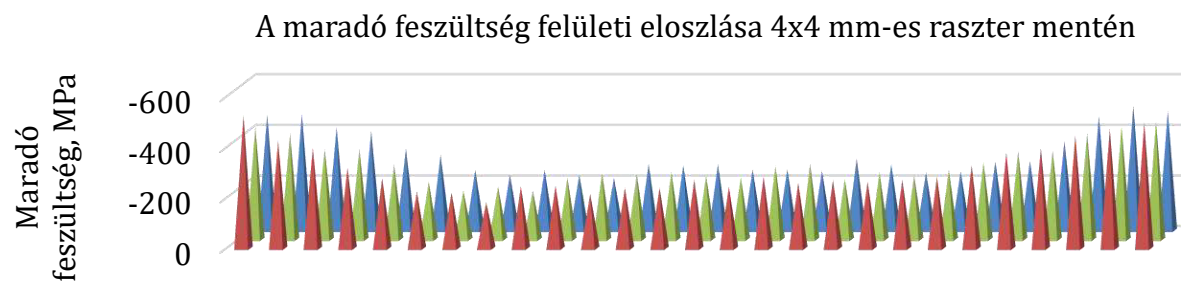
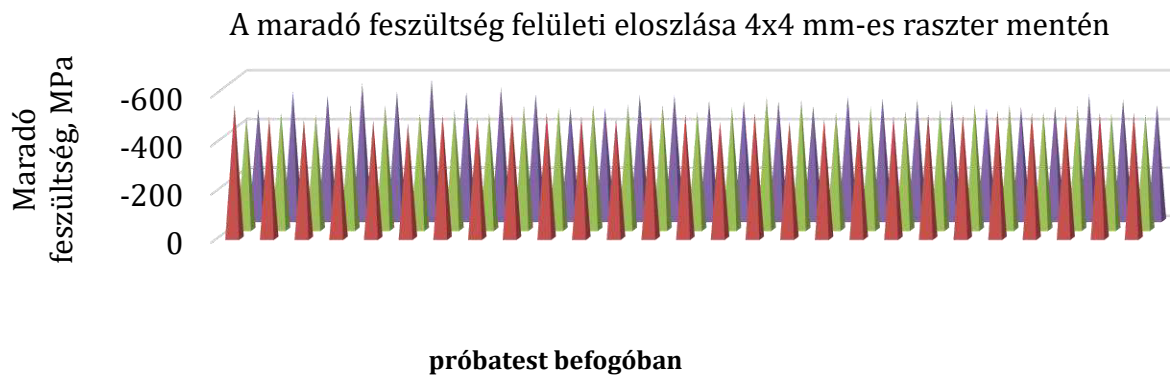
1. Melléklet 42CrMo4/2 szemcseszórt lemez próbatest felszínén mérhető feszültség eloszlása.....	97
2. Melléklet MIL-A 46100/2 szemcseszórt lemez próbatest felszínén mérhető feszültség eloszlása.....	97
3. Melléklet X6CrNiMoTi17-12-2/2 szemcseszórt lemez próbatest felszínén mérhető feszültség eloszlása.....	98
4. Melléklet, 42CrMo4/1 lemez próbatest befogóban mért feszültség eredményei	98
5. Melléklet, 42CrMo4/1 lemez próbatest befogóból felszabadított állapotában mért maradó feszültség eredményei	100
6. Melléklet, 42CrMo4/2 lemez próbatest befogóban mért feszültség eredményei	102
7. Melléklet, 42CrMo4/2 lemez próbatest befogóból felszabadított állapotában mért maradó feszültség eredményei	104
8. Melléklet, ábra MIL-A 46100/1 lemez próbatest befogóban mért feszültség eredményei	106
9. Melléklet, MIL-A 46100/1 lemez próbatest befogóból felszabadított állapotában mért maradó feszültség eredményei	109
10. Melléklet, ábra MIL-A 46100/2 lemez próbatest befogóban mért feszültség eredményei	111
11. Melléklet, MIL-A 46100/2 lemez próbatest befogóból felszabadított állapotában mért maradó feszültség eredményei	113
12. Melléklet, X6CrNiMoTi17-12-2/1 lemez próbatest befogóban mért feszültség eredményei	115
13. Melléklet, X6CrNiMoTi17-12-2/1 lemez próbatest befogóból felszabadított állapotában mért maradó feszültség eredményei	117
14. Melléklet, X6CrNiMoTi17-12-2/2 lemez próbatest befogóban mért feszültség eredményei	119
15. Melléklet, X6CrNiMoTi17-12-2/2 lemez próbatest befogóból felszabadított állapotában mért maradó feszültség eredményei	121
16. Melléklet, 42CrMo4 lemez próbatest hátsó, nem szórt oldalának maradó feszültség eredményei	123
17. Melléklet, MIL-A 46100 lemez próbatest hátsó, nem szórt oldalának maradó feszültség eredményei	124
18. Melléklet, X6CrNiMoTi17-12-2 lemez próbatest hátsó, nem szórt oldalának maradó feszültség eredményei	124
19. Melléklet, 42CrMo4/1/ szórt oldal 3D mérések eredményei	126
20. Melléklet, 42CrMo4/1/ hátsó oldal 3D mérések eredményei	127
21. melléklet, 42CrMo4/2/ szórt oldal 3D mérések eredményei	128
22. Melléklet, 42CrMo4/2/ hátsó oldal 3D mérések eredményei	129
23. Melléklet, MIL-A 46100/1 szórt oldal 3D mérések eredményei.....	130

24.	Melléklet, MIL-A 46100/1 hátsó oldal 3D mérések eredményei.....	131
25.	Melléklet, MIL-A 46100/2 szórt oldal 3D mérések eredményei.....	132
26.	Melléklet, MIL-A 46100/2 hátsó oldal 3D mérések eredményei.....	133
27.	Melléklet, X6CrNiMoTi17-12-2/1szórt oldal 3D mérések eredményei.....	134
28.	Melléklet, X6CrNiMoTi17-12-2/1hátsó oldal 3D mérések eredményei	135
29.	Melléklet, X6CrNiMoTi17-12-2/2szórt oldal 3D mérések eredményei.....	136
30.	Melléklet, X6CrNiMoTi17-12-2/2hátsó oldal 3D mérések eredményei	137
31.	Melléklet, 42CrMo4 fárasztó próbatest mélység profil	138
32.	Melléklet az 1. számú 42CrMo4 fárasztó próbatest maradó feszültség adatai	138
33.	Melléklet a 2. számú 42CrMo4 fárasztó próbatest maradó feszültség adatai	139
34.	Melléklet a 3. számú 42CrMo4 fárasztó próbatest maradó feszültség adatai	139
35.	Melléklet a 4. számú 42CrMo4 fárasztó próbatest maradó feszültség adatai	140
36.	Melléklet az 5. számú 42CrMo4 fárasztó próbatest maradó feszültség adatai	141
37.	Melléklet a 6. számú 42CrMo4 fárasztó próbatest maradó feszültség adatai	141
38.	Melléklet a 7. számú 42CrMo4 fárasztó próbatest maradó feszültség adatai	142
39.	Melléklet a 8. számú 42CrMo4 fárasztó próbatest maradó feszültség adatai	145
40.	Melléklet a 9. számú 42CrMo4 fárasztó próbatest maradó feszültség adatai	148
41.	Melléklet a 10. számú 42CrMo4 fárasztó próbatest maradó feszültség adatai.....	151
42.	Melléklet az 11. számú 42CrMo4 fárasztó próbatest maradó feszültség adatai...153	
43.	Melléklet a 12. számú 42CrMo4 fárasztó próbatest maradó feszültség adatai.....	155
44.	Melléklet a 13. számú 42CrMo4 fárasztó próbatest maradó feszültség adatai.....	157
45.	Melléklet a 14. számú 42CrMo4 bemetszett, fárasztó próbatest maradó feszültség adatai	160
46.	Melléklet a 15. számú 42CrMo4 bemetszett, fárasztó próbatest maradó feszültség adatai	161
47.	Melléklet a 16. számú 42CrMo4 fárasztó próbatest maradó feszültség adatai.....	162
48.	Melléklet az 17. számú 42CrMo4 fárasztó próbatest maradó feszültség adatai...163	
49.	Melléklet a 18. számú 42CrMo4 fárasztó próbatest maradó feszültség adatai.....	165
50.	Melléklet a 18. számú 42CrMo4 fárasztó próbatest maradó feszültség adatai.....	167
51.	Melléklet a 19. számú 42CrMo4 fárasztó próbatest maradó feszültség adatai.....	168
52.	Melléklet a 20. számú 42CrMo4 fárasztó próbatest maradó feszültség adatai.....	169
53.	Melléklet a H jelű 42CrMo4 fárasztó próbatest maradó feszültség adatát.....	173

1. Melléklet 42CrMo4/2 szemcseszórt lemez próbatest felszínén mérhető feszültség eloszlása

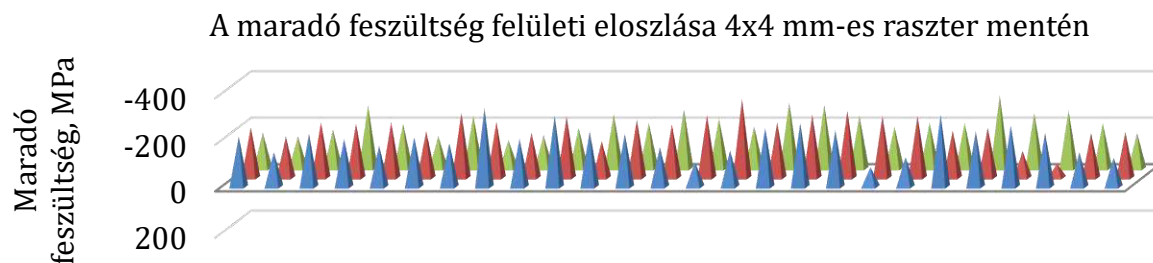


2. Melléklet MIL-A 46100/2 szemcseszórt lemez próbatest felszínén mérhető feszültség eloszlása



próbatest befogóból kivéve

3. Melléklet X6CrNiMoTi17-12-2/2 szemcseszórt lemez próbatest felszínén mérhető feszültség eloszlása



próbatest befogóban



próbatest befogóból kivéve

4. Melléklet, 42CrMo4/1 lemez próbatest befogóban mért feszültség eredményei

1. sor						
σ (MPa): 0,0°	(±)	τ (MPa): 0,0°	(±)	FWHM(°): 0,0°	(±)	2 θ : 0,0°
-278.10	19.70	-37.70	4.40	3.81	0.12	155.83
-266.00	5.70	-15.10	1.30	3.74	0.14	155.81
-265.00	10.40	-18.90	2.30	3.75	0.14	155.81
-302.40	12.40	-12.00	2.80	3.75	0.13	155.82
-276.40	11.10	-16.40	2.50	3.70	0.12	155.82
-333.70	4.60	-7.70	1.00	3.72	0.16	155.74
-288.50	7.70	-9.00	1.70	3.71	0.13	155.78
-268.50	10.50	-2.70	2.40	3.72	0.14	155.81
-256.70	8.60	-9.30	1.90	3.68	0.13	155.83
-207.10	4.60	-15.00	1.00	3.63	0.14	155.85
-222.30	16.20	-6.90	3.60	3.63	0.11	155.80
-210.60	16.40	-6.50	3.70	3.58	0.09	155.84
-223.90	9.60	-1.40	2.10	3.61	0.10	155.86
-230.80	9.10	-2.20	2.00	3.61	0.15	155.83
-248.20	5.10	-14.50	1.10	3.66	0.12	155.78

-247.20	11.00	-3.70	2.50	3.59	0.10	155.82
-254.90	5.20	-7.70	1.20	3.62	0.13	155.78
-267.20	5.00	-5.90	1.10	3.63	0.16	155.80
-288.20	6.50	-11.70	1.50	3.63	0.12	155.76
-277.40	19.40	-12.00	4.30	3.64	0.11	155.75
-256.90	7.40	-12.00	1.70	3.64	0.11	155.84
-235.80	7.90	-11.10	1.80	3.57	0.14	155.84
-243.60	16.50	-11.50	3.70	3.61	0.13	155.80
-240.90	17.00	-12.30	3.80	3.67	0.10	155.85
-235.40	7.30	-9.60	1.60	3.61	0.12	155.80
-263.40	14.70	1.30	3.30	3.57	0.10	155.80

2. sor						
σ (MPa): 0,0°	(\pm)	τ (MPa): 0,0°	(\pm)	FWHM(°): 0,0°	(\pm)	2 θ : 0,0°
-284.60	11.70	-27.60	2.60	3.72	0.11	155.80
-263.00	13.00	-10.90	2.90	3.63	0.12	155.81
-254.40	3.90	-12.20	0.90	3.67	0.11	155.82
-288.00	4.10	-9.50	0.90	3.64	0.16	155.75
-286.90	6.70	-14.70	1.50	3.76	0.13	155.81
-305.00	8.20	-12.00	1.80	3.75	0.16	155.77
-292.10	15.40	-8.40	3.40	3.70	0.15	155.79
-299.00	11.50	-2.80	2.60	3.67	0.12	155.76
-251.80	9.60	-14.80	2.10	3.68	0.11	155.77
-239.20	7.70	-12.60	1.70	3.66	0.11	155.86
-209.80	11.00	-8.70	2.50	3.65	0.10	155.85
-253.70	10.50	-11.40	2.40	3.62	0.12	155.80
-218.90	10.70	-7.50	2.40	3.60	0.12	155.86
-257.70	7.50	-5.90	1.70	3.60	0.15	155.77
-270.60	11.50	-10.10	2.60	3.62	0.13	155.79
-254.20	6.60	-8.50	1.50	3.61	0.14	155.84
-222.90	8.50	-18.40	1.90	3.55	0.11	155.82
-250.00	7.50	-16.60	1.70	3.57	0.11	155.80
-252.80	8.50	-6.00	1.90	3.59	0.12	155.79
-246.80	9.70	-8.80	2.20	3.59	0.13	155.83
-215.50	6.80	-7.70	1.50	3.63	0.10	155.82
-287.30	9.10	-12.90	2.00	3.62	0.14	155.77
-234.30	9.90	-6.70	2.20	3.66	0.10	155.84
-233.60	9.10	-5.00	2.00	3.67	0.12	155.81
-241.10	7.20	-4.90	1.60	3.62	0.12	155.84
-234.30	10.10	-0.70	2.30	3.60	0.13	155.80

3. sor						
σ (MPa): 0,0°	(\pm)	τ (MPa): 0,0°	(\pm)	FWHM(°): 0,0°	(\pm)	2 θ : 0,0°

-298.20	26.10	-33.60	5.80	3.76	0.16	155.79
-298.10	5.00	-13.50	1.10	3.74	0.13	155.75
-279.80	2.90	-13.70	0.70	3.69	0.06	155.82
-306.20	11.40	-8.80	2.50	3.76	0.12	155.79
-242.00	5.60	-9.00	1.30	3.70	0.09	155.84
-290.30	7.80	-6.30	1.70	3.73	0.12	155.73
-270.40	12.20	-7.80	2.70	3.70	0.13	155.79
-264.60	11.90	-15.20	2.70	3.64	0.12	155.83
-252.70	8.20	-10.50	1.80	3.54	0.09	155.81
-187.60	9.10	-5.80	2.00	3.54	0.10	155.88
-199.70	8.30	-12.50	1.90	3.59	0.12	155.85
-234.30	8.00	-2.30	1.80	3.53	0.09	155.83
-281.80	11.10	-5.40	2.50	3.57	0.13	155.78
-229.80	5.90	-10.00	1.30	3.65	0.09	155.81
-227.60	8.00	-6.90	1.80	3.58	0.11	155.81
-216.30	16.50	-8.20	3.70	3.63	0.11	155.82
-224.20	7.70	-5.00	1.70	3.53	0.13	155.83
-214.40	6.80	-6.70	1.50	3.57	0.12	155.85
-252.40	2.60	-8.70	0.60	3.57	0.16	155.77
-236.20	6.90	-8.00	1.50	3.57	0.11	155.81
-255.20	7.20	-9.50	1.60	3.55	0.12	155.80
-199.50	3.70	-15.20	0.80	3.60	0.10	155.86
-250.20	5.50	-11.40	1.20	3.59	0.14	155.78
-261.50	9.90	1.70	2.20	3.54	0.14	155.81
-247.10	8.20	-9.60	1.80	3.58	0.14	155.79
-254.30	3.80	-0.70	0.90	3.55	0.12	155.83

5. Melléklet, 42CrMo4/1 lemez próbatest befogóból felszabadított állapotában mért maradó feszültség eredményei

1. sor						
σ (MPa): 0,0°	(±)	τ (MPa): 0,0°	(±)	FWHM(°): 0,0°	(±)	2 θ : 0,0°
-257.70	13.20	-34.40	2.90	3.83	0.24	155.76
-243.00	9.00	-23.90	2.00	3.72	0.13	155.79
-206.60	5.40	-22.30	1.20	3.73	0.18	155.80
-240.40	13.90	-19.10	3.10	3.71	0.14	155.73
-169.10	6.70	-18.70	1.50	3.65	0.11	155.87
-193.10	2.30	-11.10	0.50	3.71	0.13	155.78
-128.20	4.90	-9.60	1.10	3.65	0.11	155.85
-121.60	10.10	-7.50	2.30	3.69	0.11	155.84
-107.80	6.40	-6.10	1.40	3.63	0.11	155.90
-63.10	4.80	-13.40	1.10	3.61	0.11	155.91
-73.60	12.20	-9.60	2.70	3.60	0.15	155.91
-49.80	13.30	-3.90	3.00	3.57	0.11	155.93
-74.90	9.50	-4.60	2.10	3.60	0.11	155.92

-84.90	5.50	-4.80	1.20	3.61	0.10	155.90
-76.90	5.00	-11.80	1.10	3.59	0.10	155.90
-69.10	11.00	-1.90	2.50	3.53	0.11	155.92
-52.10	5.90	-5.50	1.30	3.58	0.12	155.93
-50.40	11.20	-1.60	2.50	3.60	0.11	155.93
-65.30	7.40	-4.60	1.70	3.58	0.10	155.89
-74.10	9.00	-4.40	2.00	3.58	0.13	155.86
-86.50	5.80	-4.80	1.30	3.58	0.12	155.88
-95.50	12.50	-0.20	2.80	3.58	0.10	155.88
-139.60	5.30	-3.60	1.20	3.58	0.13	155.86
-180.20	11.50	-2.50	2.60	3.62	0.14	155.85
-199.30	8.70	0.20	1.90	3.62	0.11	155.74
-245.90	11.70	7.40	2.60	3.59	0.12	155.77

2. sor						
σ (MPa): 0,0°	(\pm)	τ (MPa): 0,0°	(\pm)	FWHM(°): 0,0°	(\pm)	2 θ : 0,0°
-269.80	8.40	-30.10	1.90	3.67	0.12	155.73
-219.20	15.80	-17.20	3.50	3.62	0.11	155.78
-172.60	12.80	-19.90	2.90	3.68	0.15	155.81
-206.10	9.70	-19.10	2.20	3.65	0.10	155.82
-171.80	8.60	-17.10	1.90	3.75	0.11	155.86
-144.40	12.20	-17.50	2.70	3.71	0.15	155.84
-142.00	15.00	-8.10	3.40	3.70	0.13	155.85
-112.80	9.60	-7.40	2.10	3.67	0.12	155.82
-73.00	3.20	-10.70	0.70	3.70	0.12	155.92
-75.40	10.90	-10.30	2.40	3.66	0.07	155.90
-43.40	6.00	-8.30	1.30	3.61	0.11	155.96
-69.30	11.40	-8.90	2.50	3.59	0.11	155.92
-31.60	9.30	-5.30	2.10	3.56	0.09	155.94
-72.20	6.70	-3.40	1.50	3.53	0.11	155.85
-64.40	7.70	-3.50	1.70	3.61	0.11	155.90
-39.00	11.30	-3.70	2.50	3.58	0.14	155.93
-28.20	5.10	-12.70	1.10	3.54	0.11	155.96
-46.80	5.30	-9.60	1.20	3.50	0.10	155.91
-27.80	5.00	1.00	1.10	3.56	0.10	155.92
-44.60	11.90	-5.30	2.70	3.54	0.15	155.92
-33.10	11.00	-0.60	2.50	3.58	0.11	155.94
-121.00	11.10	-4.70	2.50	3.63	0.11	155.84
-126.50	11.30	0.90	2.50	3.64	0.15	155.85
-146.30	11.40	1.20	2.50	3.72	0.12	155.84
-193.30	13.60	1.90	3.00	3.62	0.12	155.77
-202.70	14.20	7.90	3.20	3.62	0.12	155.77

3. sor						
σ (MPa): 0,0°	(\pm)	τ (MPa): 0,0°	(\pm)	FWHM(°): 0,0°	(\pm)	2θ : 0,0°
-260.90	5.50	-36.40	1.20	3.72	0.20	155.77
-222.60	9.70	-25.20	2.20	3.75	0.14	155.80
-186.90	11.10	-16.00	2.50	3.68	0.12	155.86
-211.50	6.30	-15.80	1.40	3.76	0.16	155.77
-119.10	7.20	-15.80	1.60	3.67	0.11	155.91
-145.10	5.10	-11.10	1.10	3.74	0.09	155.84
-81.70	6.20	-10.50	1.40	3.69	0.10	155.95
-99.90	12.40	-13.30	2.80	3.62	0.14	155.91
-70.30	10.80	-9.10	2.40	3.56	0.14	155.89
-18.80	8.40	-7.50	1.90	3.56	0.10	155.98
-23.80	10.50	-10.50	2.40	3.56	0.10	155.93
-62.00	6.20	-3.60	1.40	3.49	0.10	155.98
-93.20	8.50	-5.20	1.90	3.56	0.12	155.90
-53.10	4.40	-1.60	1.00	3.58	0.06	155.92
-63.70	8.70	-2.10	1.90	3.54	0.12	155.98
-42.60	12.60	-5.20	2.80	3.62	0.11	155.90
-23.20	14.60	-1.90	3.30	3.50	0.11	155.95
-20.40	15.20	-4.80	3.40	3.54	0.12	155.95
-38.80	1.00	-5.30	0.20	3.54	0.11	155.93
-40.60	6.00	-2.60	1.30	3.52	0.10	155.91
-78.20	3.50	2.70	0.80	3.54	0.11	155.92
-33.50	6.90	-6.90	1.50	3.60	0.13	155.93
-122.10	2.70	-3.20	0.60	3.54	0.10	155.83
-165.90	15.20	6.70	3.40	3.53	0.12	155.81
-198.50	7.60	1.50	1.70	3.57	0.12	155.80
-234.40	11.10	5.50	2.50	3.56	0.16	155.76

6. Melléklet, 42CrMo4/2 lemez próbatest befogóban mért feszültség eredményei

1. sor						
σ (MPa): 0,0°	(\pm)	τ (MPa): 0,0°	(\pm)	FWHM(°): 0,0°	(\pm)	2θ : 0,0°
-231.20	8.30	7.30	1.80	3.63	0.14	155.80
-281.20	13.10	10.20	2.90	3.68	0.13	155.77
-284.10	11.80	12.10	2.60	3.61	0.12	155.75
-203.80	6.60	13.30	1.50	3.64	0.09	155.86
-286.60	14.50	19.70	3.20	3.66	0.13	155.77
-311.40	12.90	15.30	2.90	3.70	0.12	155.75
-273.80	5.30	16.30	1.20	3.72	0.09	155.74
-246.10	9.00	16.90	2.00	3.71	0.12	155.74
-261.80	8.60	15.50	1.90	3.69	0.10	155.76
-263.80	9.00	13.60	2.00	3.64	0.13	155.75
-289.30	10.40	8.90	2.30	3.60	0.15	155.73

-251.70	8.00	12.70	1.80	3.65	0.15	155.80
-249.10	9.50	11.50	2.10	3.61	0.13	155.83
-254.80	11.00	10.80	2.50	3.57	0.14	155.76
-225.00	3.80	17.30	0.90	3.59	0.10	155.80
-231.50	16.60	20.60	3.70	3.66	0.11	155.82
-248.20	15.20	10.90	3.40	3.59	0.12	155.79
-278.60	14.10	13.10	3.20	3.61	0.12	155.74
-243.50	11.10	13.80	2.50	3.61	0.10	155.83
-262.70	14.60	14.10	3.30	3.62	0.10	155.78
-260.90	11.90	16.50	2.70	3.64	0.13	155.77
-243.30	13.00	15.40	2.90	3.73	0.09	155.78
-284.70	12.50	21.10	2.80	3.69	0.11	155.77
-300.90	17.20	20.20	3.90	3.70	0.15	155.74
-235.20	14.20	17.10	3.20	3.75	0.08	155.76
-302.60	10.50	21.20	2.40	3.81	0.12	155.74
-282.80	14.00	18.30	3.10	3.75	0.15	155.76

2. sor						
σ (MPa): 0,0°	(±)	τ (MPa): 0,0°	(±)	FWHM(°): 0,0°	(±)	2 θ : 0,0°
-250.30	12.60	11.50	2.80	3.65	0.09	155.76
-241.90	8.60	11.30	1.90	3.61	0.15	155.80
-213.40	13.60	13.00	3.00	3.69	0.11	155.83
-244.10	17.70	16.80	4.00	3.63	0.13	155.80
-252.60	16.10	21.20	3.60	3.74	0.12	155.79
-281.30	5.00	15.10	1.10	3.69	0.13	155.77
-265.80	5.00	15.90	1.10	3.57	0.11	155.79
-233.70	13.40	13.90	3.00	3.65	0.11	155.81
-213.90	1.30	14.80	0.30	3.62	0.12	155.83
-228.90	13.80	13.30	3.10	3.59	0.13	155.82
-226.00	14.00	10.90	3.10	3.58	0.14	155.84
-214.80	9.20	11.90	2.10	3.55	0.11	155.82
-224.20	6.80	13.20	1.50	3.56	0.11	155.81
-230.20	15.90	16.20	3.60	3.57	0.13	155.80
-279.80	11.50	16.60	2.60	3.55	0.12	155.75
-240.90	13.00	17.30	2.90	3.62	0.13	155.82
-228.10	8.90	10.30	2.00	3.59	0.12	155.79
-230.90	13.70	10.90	3.10	3.53	0.13	155.80
-205.40	3.80	16.10	0.90	3.56	0.13	155.83
-213.30	10.30	14.60	2.30	3.66	0.10	155.81
-229.90	10.10	13.50	2.30	3.57	0.12	155.83
-236.70	11.20	8.70	2.50	3.59	0.11	155.78
-244.50	10.20	12.60	2.30	3.61	0.16	155.81
-259.20	13.30	17.40	3.00	3.64	0.11	155.78

-244.40	4.00	22.60	0.90	3.71	0.14	155.82
-258.50	10.50	21.10	2.40	3.68	0.09	155.83
-313.80	7.90	24.70	1.80	3.64	0.13	155.72

3. sor						
σ (MPa): 0,0°	(\pm)	τ (MPa): 0,0°	(\pm)	FWHM(°): 0,0°	(\pm)	2 θ : 0,0°
-229.70	4.60	6.10	1.00	3.55	0.08	155.83
-249.10	13.20	18.30	2.90	3.58	0.12	155.80
-239.30	11.90	12.40	2.70	3.66	0.11	155.77
-253.00	22.70	13.80	5.10	3.58	0.14	155.78
-273.40	9.70	17.20	2.20	3.68	0.10	155.77
-280.90	8.70	21.40	1.90	3.66	0.12	155.76
-276.80	15.70	14.30	3.50	3.65	0.12	155.78
-237.70	8.10	14.60	1.80	3.61	0.14	155.82
-302.30	7.90	18.30	1.80	3.64	0.14	155.75
-286.80	6.70	17.30	1.50	3.69	0.13	155.76
-278.80	7.40	16.40	1.70	3.74	0.13	155.78
-305.10	6.00	11.70	1.30	3.67	0.19	155.72
-284.20	12.20	18.20	2.70	3.70	0.13	155.75
-290.50	10.60	6.20	2.40	3.72	0.13	155.77
-268.70	4.30	8.40	1.00	3.66	0.16	155.79
-246.90	10.80	7.10	2.40	3.62	0.12	155.79
-198.70	7.60	14.80	1.70	3.58	0.08	155.83
-236.30	8.80	16.90	2.00	3.62	0.14	155.79
-262.30	12.50	15.70	2.80	3.63	0.14	155.81
-227.40	1.80	16.80	0.40	3.63	0.12	155.78
-237.80	16.00	6.30	3.60	3.63	0.09	155.83
-258.30	6.40	16.30	1.40	3.71	0.15	155.82
-253.90	9.90	15.40	2.20	3.70	0.11	155.81
-216.50	7.90	23.00	1.80	3.65	0.14	155.83
-269.90	7.70	18.10	1.70	3.68	0.14	155.79
-245.90	0.70	21.20	0.10	3.65	0.14	155.77
-288.50	9.40	25.20	2.10	3.65	0.12	155.77

7. Melléklet, 42CrMo4/2 lemez próbatétel befogóból felszabadított állapotában mért maradó feszültség eredményei

1. sor						
σ (MPa): 0,0°	(\pm)	τ (MPa): 0,0°	(\pm)	FWHM(°): 0,0°	(\pm)	2 θ : 0,0°
-225.10	13.50	0.00	3.00	3.64	0.15	155.81
-225.10	10.90	0.60	2.40	3.68	0.15	155.77
-196.20	16.80	3.80	3.80	3.60	0.14	155.77
-104.50	6.40	10.60	1.40	3.67	0.09	155.87
-140.00	7.40	13.70	1.70	3.66	0.11	155.85

-133.10	9.50	7.50	2.10	3.65	0.13	155.80
-97.60	7.10	10.70	1.60	3.68	0.11	155.87
-81.10	15.60	11.00	3.50	3.70	0.11	155.86
-65.40	8.80	11.30	2.00	3.66	0.09	155.95
-60.90	10.80	12.20	2.40	3.63	0.10	155.90
-84.50	10.90	7.60	2.40	3.56	0.06	155.86
-70.10	11.40	10.20	2.50	3.62	0.13	155.89
-60.80	9.30	10.00	2.10	3.56	0.10	155.92
-79.20	5.00	12.50	1.10	3.54	0.10	155.90
-68.40	9.10	15.90	2.00	3.56	0.08	155.90
-63.30	9.00	19.40	2.00	3.62	0.11	155.95
-84.50	6.90	9.30	1.50	3.59	0.08	155.88
-120.90	16.40	13.40	3.70	3.55	0.13	155.84
-99.50	14.30	13.70	3.20	3.56	0.13	155.88
-114.10	7.70	13.70	1.70	3.57	0.12	155.82
-100.30	11.00	19.50	2.50	3.61	0.11	155.90
-111.40	11.60	15.50	2.60	3.71	0.11	155.84
-156.60	7.90	23.60	1.80	3.68	0.10	155.81
-211.60	10.30	25.70	2.30	3.72	0.12	155.78
-180.80	13.90	20.60	3.10	3.74	0.15	155.79
-257.40	7.10	30.20	1.60	3.78	0.15	155.76
-272.60	13.00	24.40	2.90	3.74	0.13	155.74

2. sor						
σ (MPa): 0,0°	(±)	τ (MPa): 0,0°	(±)	FWHM(°): 0,0°	(±)	2θ : 0,0°
-246.00	10.10	-2.70	2.30	3.66	0.08	155.77
-194.30	9.20	-0.80	2.10	3.61	0.10	155.81
-160.20	5.60	5.30	1.30	3.65	0.11	155.79
-133.80	1.80	7.40	0.40	3.61	0.09	155.86
-114.10	5.50	15.20	1.20	3.73	0.14	155.85
-122.10	6.70	5.70	1.50	3.65	0.14	155.91
-95.30	9.70	7.40	2.20	3.52	0.14	155.87
-48.10	14.90	7.60	3.30	3.58	0.11	155.93
-41.20	8.60	6.80	1.90	3.57	0.11	155.95
-56.20	9.40	7.70	2.10	3.58	0.11	155.94
-48.80	11.40	7.90	2.50	3.53	0.11	155.92
-39.00	9.90	7.70	2.20	3.54	0.12	155.96
-56.50	8.20	11.10	1.80	3.49	0.12	155.93
-74.80	9.30	12.90	2.10	3.57	0.12	155.91
-103.70	11.20	11.40	2.50	3.52	0.13	155.86
-78.90	12.60	14.70	2.80	3.59	0.12	155.95
-44.70	3.40	7.00	0.80	3.59	0.08	155.94
-76.00	8.00	5.80	1.80	3.50	0.14	155.90

-51.70	4.10	16.60	0.90	3.54	0.10	155.94
-68.30	11.90	13.40	2.70	3.63	0.11	155.92
-97.60	9.50	12.40	2.10	3.55	0.10	155.86
-108.40	10.70	7.90	2.40	3.57	0.15	155.87
-127.20	8.50	14.70	1.90	3.65	0.12	155.84
-163.70	12.70	20.80	2.80	3.65	0.13	155.82
-168.90	10.30	25.50	2.30	3.71	0.10	155.80
-214.30	22.90	26.20	5.10	3.69	0.11	155.75
-286.40	7.30	31.80	1.60	3.67	0.17	155.74

3. sor						
σ (MPa): 0,0°	(±)	τ (MPa): 0,0°	(±)	FWHM(°): 0,0°	(±)	2 θ : 0,0°
-237.50	6.80	-2.60	1.50	3.56	0.09	155.77
-207.90	15.40	5.40	3.40	3.58	0.12	155.81
-154.20	4.20	1.00	0.90	3.62	0.11	155.86
-149.60	9.00	3.40	2.00	3.54	0.14	155.82
-145.00	7.80	8.00	1.80	3.68	0.10	155.90
-138.50	6.80	7.20	1.50	3.67	0.11	155.81
-113.80	1.10	5.80	0.20	3.61	0.11	155.85
-67.90	9.10	11.10	2.00	3.54	0.11	155.93
-100.60	5.60	7.30	1.20	3.57	0.10	155.85
-107.90	9.50	11.90	2.10	3.64	0.12	155.90
-95.60	11.30	9.10	2.50	3.69	0.13	155.89
-117.20	9.40	7.20	2.10	3.65	0.14	155.84
-106.50	12.50	11.40	2.80	3.67	0.10	155.88
-112.90	3.60	0.40	0.80	3.67	0.15	155.86
-101.90	5.50	6.20	1.20	3.61	0.10	155.86
-69.20	2.10	6.20	0.50	3.59	0.11	155.92
-62.90	3.60	13.00	0.80	3.58	0.11	155.97
-71.80	6.30	13.50	1.40	3.58	0.14	155.92
-122.00	9.20	11.90	2.00	3.60	0.13	155.85
-80.80	14.30	15.30	3.20	3.56	0.10	155.87
-107.60	6.70	7.60	1.50	3.60	0.13	155.90
-131.70	4.60	18.40	1.00	3.66	0.10	155.86
-118.70	9.80	14.40	2.20	3.65	0.13	155.86
-124.90	7.50	20.90	1.70	3.63	0.11	155.88
-208.80	12.60	22.40	2.80	3.64	0.12	155.78
-207.80	4.80	20.60	1.10	3.66	0.14	155.80
-256.20	14.10	31.70	3.20	3.64	0.14	155.78

8. Melléklet, ábra MIL-A 46100/1 lemez próbatest befogóban mért feszültség eredményei

1. sor

σ (MPa): 0,0°	(\pm)	τ (MPa): 0,0°	(\pm)	FWHM(°): 0,0°	(\pm)	2 θ : 0,0°
-551.80	16.30	-20.50	3.60	4.32	0.25	155.44
-500.30	10.20	-14.00	2.30	4.32	0.15	155.44
-491.00	7.50	-14.00	1.70	4.37	0.13	155.46
-464.50	10.90	-9.50	2.40	4.33	0.13	155.48
-485.60	10.00	-12.30	2.20	4.33	0.16	155.42
-477.30	12.40	-13.70	2.80	4.35	0.20	155.46
-509.70	18.10	-11.50	4.00	4.34	0.22	155.43
-496.00	12.90	-12.00	2.90	4.39	0.16	155.45
-511.50	15.60	-11.40	3.50	4.37	0.18	155.40
-517.60	9.00	-10.70	2.00	4.35	0.18	155.41
-505.50	14.20	-13.20	3.20	4.34	0.16	155.42
-496.20	4.70	-11.30	1.00	4.41	0.20	155.45
-500.10	14.50	-16.20	3.20	4.31	0.19	155.45
-512.90	14.80	-15.10	3.30	4.33	0.18	155.43
-483.40	5.50	-14.70	1.20	4.37	0.19	155.47
-516.50	8.80	-10.70	2.00	4.34	0.14	155.42
-482.80	14.80	-18.30	3.30	4.39	0.18	155.44
-495.60	11.00	-21.00	2.50	4.41	0.18	155.40
-492.70	7.20	-14.60	1.60	4.42	0.16	155.45
-505.10	22.40	-16.60	5.00	4.43	0.21	155.37
-513.10	11.00	-18.10	2.50	4.36	0.16	155.39
-511.10	12.60	-11.50	2.80	4.41	0.17	155.40
-529.30	11.00	-15.20	2.50	4.37	0.22	155.41
-517.80	18.00	-15.20	4.00	4.38	0.13	155.41
-509.80	8.30	-12.90	1.80	4.41	0.15	155.47
-519.00	7.00	-5.60	1.60	4.38	0.21	155.41
-521.50	17.10	-2.90	3.80	4.37	0.18	155.40

2. sor						
σ (MPa): 0,0°	(\pm)	τ (MPa): 0,0°	(\pm)	FWHM(°): 0,0°	(\pm)	2 θ : 0,0°
-465.30	10.30	-18.10	2.30	4.31	0.15	155.50
-484.00	3.00	-21.10	0.70	4.34	0.15	155.50
-476.90	7.90	-13.60	1.80	4.39	0.17	155.48
-516.00	12.70	-14.40	2.80	4.35	0.20	155.37
-515.80	11.90	-8.10	2.70	4.38	0.19	155.40
-480.60	17.20	-10.60	3.90	4.39	0.13	155.49
-493.70	16.10	-16.50	3.60	4.31	0.13	155.47
-483.40	17.80	-12.00	4.00	4.38	0.15	155.43
-512.20	30.20	-13.50	6.70	4.37	0.23	155.40
-501.80	8.70	-13.50	2.00	4.41	0.14	155.44
-516.30	19.80	-10.60	4.40	4.36	0.17	155.38
-519.50	14.90	-11.70	3.30	4.36	0.17	155.40

-517.80	18.60	-9.70	4.20	4.37	0.16	155.39
-487.50	11.50	-12.00	2.60	4.34	0.15	155.45
-504.00	11.40	-13.60	2.60	4.37	0.19	155.44
-547.40	13.40	-22.40	3.00	4.36	0.18	155.40
-536.00	11.20	-1.90	2.50	4.32	0.18	155.40
-482.50	3.60	-13.90	0.80	4.38	0.19	155.43
-506.50	4.20	-14.70	0.90	4.39	0.19	155.42
-490.60	6.80	-12.90	1.50	4.35	0.16	155.47
-496.80	11.90	-13.50	2.70	4.38	0.13	155.43
-515.30	18.10	-15.40	4.00	4.37	0.17	155.45
-518.70	8.00	-8.60	1.80	4.35	0.14	155.45
-484.60	12.60	-11.80	2.80	4.36	0.17	155.42
-512.60	6.90	-11.00	1.50	4.37	0.17	155.41
-479.70	7.20	-11.10	1.60	4.43	0.17	155.44
-475.20	16.50	7.50	3.70	4.33	0.16	155.48

3. sor						
σ (MPa): 0,0°	(±)	τ (MPa): 0,0°	(±)	FWHM(°): 0,0°	(±)	2 θ : 0,0°
-461.20	13.90	-27.10	3.10	4.42	0.22	155.51
-533.10	12.90	-15.00	2.90	4.34	0.17	155.40
-516.00	5.60	-15.50	1.30	4.38	0.13	155.39
-565.70	11.80	-15.10	2.60	4.38	0.19	155.37
-531.10	19.40	-16.80	4.30	4.41	0.21	155.39
-583.20	19.10	-9.40	4.30	4.34	0.21	155.34
-530.30	6.70	-10.00	1.50	4.40	0.18	155.43
-550.30	42.30	-5.60	9.40	4.34	0.19	155.38
-522.70	14.20	-13.60	3.20	4.43	0.17	155.40
-467.20	8.90	-15.30	2.00	4.41	0.18	155.40
-467.00	6.50	-17.80	1.50	4.39	0.18	155.50
-518.50	12.40	-18.60	2.80	4.40	0.17	155.44
-518.10	22.80	-12.50	5.10	4.33	0.18	155.40
-494.20	7.10	-13.40	1.60	4.41	0.19	155.45
-489.90	11.10	-16.10	2.50	4.36	0.18	155.44
-493.90	7.10	-13.10	1.60	4.38	0.19	155.41
-473.40	7.40	-15.80	1.70	4.37	0.14	155.46
-512.80	10.40	-8.00	2.30	4.33	0.20	155.41
-504.00	6.60	-14.50	1.50	4.38	0.19	155.43
-497.30	3.00	-22.20	0.70	4.41	0.20	155.45
-493.50	13.00	-21.10	2.90	4.42	0.17	155.43
-465.10	9.70	-16.20	2.20	4.32	0.13	155.47
-468.90	3.80	-16.00	0.90	4.38	0.17	155.47
-471.50	15.90	-11.20	3.50	4.33	0.14	155.48
-519.10	11.20	-8.00	2.50	4.32	0.17	155.39

-500.20	6.90	-8.60	1.50	4.44	0.19	155.47
-481.00	15.70	-3.30	3.50	4.36	0.18	155.43

9. Melléklet, MIL-A 46100/1 lemez próbatest befogóból felszabadított állapotában mért maradó feszültség eredményei

1. sor						
σ (MPa): 0,0°	(\pm)	τ (MPa): 0,0°	(\pm)	FWHM(°): 0,0°	(\pm)	2 θ : 0,0°
-527.70	24.90	-51.70	5.60	4.30	0.18	155.40
-426.10	6.00	-37.30	1.30	4.26	0.14	155.49
-398.70	2.90	-34.00	0.70	4.35	0.12	155.51
-320.10	7.30	-21.40	1.60	4.32	0.14	155.62
-278.70	12.70	-27.70	2.80	4.26	0.14	155.54
-226.40	13.20	-24.00	3.00	4.28	0.14	155.60
-221.80	9.20	-25.40	2.10	4.29	0.13	155.67
-184.10	1.00	-21.50	0.20	4.28	0.16	155.68
-244.80	24.30	-18.70	5.40	4.28	0.15	155.64
-249.20	1.20	-20.80	0.30	4.23	0.14	155.59
-216.40	8.60	-17.40	1.90	4.27	0.14	155.68
-242.00	7.30	-17.60	1.60	4.34	0.09	155.64
-240.90	6.40	-16.90	1.40	4.25	0.15	155.68
-273.40	13.30	-21.70	3.00	4.33	0.14	155.61
-245.00	26.20	-13.80	5.80	4.36	0.13	155.63
-285.40	17.50	-12.20	3.90	4.35	0.17	155.61
-260.80	14.40	-16.80	3.20	4.32	0.17	155.60
-271.70	3.50	-15.50	0.80	4.32	0.14	155.59
-265.40	8.50	-12.20	1.90	4.36	0.15	155.57
-273.20	13.60	-12.00	3.00	4.35	0.12	155.59
-285.50	4.30	-12.80	1.00	4.34	0.19	155.57
-330.80	13.30	-1.90	3.00	4.33	0.15	155.50
-381.00	8.50	0.90	1.90	4.33	0.14	155.48
-398.00	19.90	-3.30	4.40	4.37	0.20	155.45
-446.40	4.00	2.50	0.90	4.36	0.16	155.45
-474.20	9.90	12.10	2.20	4.38	0.14	155.42
-498.80	13.60	8.30	3.00	4.38	0.17	155.40

2. sor						
σ (MPa): 0,0°	(\pm)	τ (MPa): 0,0°	(\pm)	FWHM(°): 0,0°	(\pm)	2 θ : 0,0°
-446.30	14.70	-50.40	3.30	4.33	0.20	155.48
-419.80	11.20	-43.90	2.50	4.30	0.15	155.48
-358.90	17.00	-34.30	3.80	4.34	0.16	155.55
-359.70	12.80	-34.60	2.90	4.31	0.17	155.53
-297.40	8.90	-23.60	2.00	4.41	0.12	155.59
-228.60	7.50	-19.50	1.70	4.33	0.13	155.63

-194.40	1.30	-26.20	0.30	4.29	0.11	155.67
-209.90	9.70	-23.20	2.20	4.33	0.15	155.62
-195.40	1.50	-20.30	0.30	4.32	0.14	155.69
-245.00	16.60	-16.60	3.70	4.32	0.16	155.56
-264.00	5.90	-13.60	1.30	4.29	0.16	155.60
-260.10	12.00	-17.30	2.70	4.33	0.12	155.64
-268.00	17.00	-12.00	3.80	4.36	0.14	155.56
-253.60	6.50	-14.70	1.40	4.32	0.11	155.61
-246.60	7.90	-16.20	1.80	4.34	0.17	155.60
-292.30	7.70	-21.30	1.70	4.31	0.17	155.59
-300.60	13.90	-4.50	3.10	4.35	0.15	155.53
-240.10	11.90	-10.50	2.70	4.34	0.11	155.61
-266.70	6.50	-10.00	1.50	4.38	0.15	155.57
-254.40	12.60	-5.20	2.80	4.35	0.10	155.58
-277.10	6.20	-9.10	1.40	4.33	0.16	155.56
-305.80	4.10	-6.30	0.90	4.31	0.13	155.55
-350.20	7.00	2.10	1.60	4.34	0.12	155.51
-353.40	14.70	3.80	3.30	4.34	0.15	155.54
-421.20	8.40	5.70	1.90	4.32	0.18	155.49
-448.00	14.10	3.40	3.20	4.38	0.16	155.45
-468.20	6.30	20.40	1.40	4.35	0.20	155.47

3. sor						
σ (MPa): 0,0°	(\pm)	τ (MPa): 0,0°	(\pm)	FWHM(°): 0,0°	(\pm)	2 θ : 0,0°
-458.90	18.70	-55.20	4.20	4.37	0.19	155.46
-461.40	14.20	-38.30	3.20	4.35	0.13	155.38
-408.70	12.80	-36.40	2.90	4.33	0.17	155.50
-394.20	15.10	-32.10	3.40	4.38	0.18	155.53
-325.90	6.30	-32.00	1.40	4.38	0.15	155.53
-300.90	17.80	-22.60	4.00	4.32	0.16	155.55
-240.10	13.00	-17.50	2.90	4.33	0.16	155.60
-221.60	11.20	-20.70	2.50	4.32	0.14	155.62
-240.40	12.10	-23.30	2.70	4.38	0.15	155.61
-222.10	12.70	-17.70	2.80	4.32	0.16	155.64
-208.30	11.10	-23.20	2.50	4.34	0.16	155.64
-264.80	10.70	-23.50	2.40	4.36	0.15	155.60
-259.20	15.70	-14.00	3.50	4.27	0.17	155.63
-263.30	9.00	-13.70	2.00	4.35	0.15	155.61
-242.40	6.20	-12.80	1.40	4.35	0.18	155.64
-243.40	9.00	-12.40	2.00	4.37	0.14	155.58
-237.10	2.60	-13.30	0.60	4.35	0.12	155.62
-285.20	5.90	-4.60	1.30	4.35	0.15	155.58
-262.50	7.80	-8.40	1.70	4.32	0.16	155.63

-230.20	23.40	-16.90	5.20	4.37	0.15	155.62
-234.50	23.10	-16.10	5.20	4.41	0.15	155.58
-275.40	6.90	-4.80	1.50	4.32	0.12	155.57
-277.20	8.20	-7.10	1.80	4.32	0.14	155.65
-354.00	9.70	2.00	2.20	4.33	0.17	155.55
-456.50	2.80	7.90	0.60	4.33	0.20	155.45
-495.10	6.00	8.50	1.30	4.40	0.19	155.44
-474.00	38.30	7.00	8.60	4.40	0.26	155.41

10. Melléklet, ábra MIL-A 46100/2 lemez próbatest befogóban mért feszültség eredményei

1. sor						
σ (MPa): 0,0°	(\pm)	τ (MPa): 0,0°	(\pm)	FWHM(°): 0,0°	(\pm)	2 θ : 0,0°
-529.50	10.60	-21.00	2.40	4.37	0.20	155.39
-462.70	4.90	-19.30	1.10	4.33	0.18	155.45
-489.80	14.10	-22.30	3.10	4.33	0.15	155.48
-504.20	6.60	-14.10	1.50	4.31	0.16	155.42
-498.80	7.50	-16.70	1.70	4.30	0.16	155.44
-442.60	7.10	-15.30	1.60	4.34	0.12	155.51
-534.70	16.30	-12.10	3.60	4.25	0.20	155.43
-454.20	8.00	-12.50	1.80	4.29	0.19	155.46
-500.80	14.40	-16.50	3.20	4.34	0.19	155.43
-505.60	18.20	-8.40	4.10	4.32	0.13	155.41
-512.70	24.90	-17.50	5.60	4.40	0.19	155.41
-520.70	10.00	-10.30	2.20	4.24	0.13	155.43
-469.60	14.50	-14.10	3.20	4.33	0.18	155.44
-490.90	7.00	-8.80	1.60	4.30	0.17	155.44
-533.70	6.90	-16.40	1.60	4.29	0.18	155.41
-467.00	3.60	-14.00	0.80	4.33	0.19	155.45
-504.70	10.40	-9.70	2.30	4.30	0.20	155.43
-498.80	10.40	-10.50	2.30	4.37	0.14	155.40
-472.30	22.20	-8.60	5.00	4.34	0.16	155.45
-476.50	4.50	-19.20	1.00	4.38	0.18	155.45
-520.40	4.70	-19.20	1.10	4.37	0.18	155.42
-508.50	19.10	-8.50	4.30	4.35	0.21	155.42
-499.10	11.00	-3.80	2.50	4.36	0.17	155.42
-469.00	16.40	-9.50	3.70	4.38	0.21	155.43
-519.30	14.00	-6.70	3.10	4.34	0.19	155.37

2. sor						
σ (MPa): 0,0°	(\pm)	τ (MPa): 0,0°	(\pm)	FWHM(°): 0,0°	(\pm)	2 θ : 0,0°
-486.50	3.10	-28.30	0.70	4.29	0.17	155.43
-511.40	14.40	-18.40	3.20	4.34	0.18	155.42

-513.10	9.70	-12.30	2.20	4.31	0.12	155.42
-497.70	16.10	-14.70	3.60	4.32	0.20	155.42
-520.30	16.80	-8.70	3.80	4.37	0.18	155.39
-443.70	10.20	-7.80	2.30	4.36	0.13	155.50
-496.50	7.00	-11.40	1.60	4.33	0.15	155.45
-498.20	19.10	-11.00	4.30	4.32	0.16	155.47
-534.30	6.60	-14.10	1.50	4.38	0.18	155.39
-471.50	12.50	-15.10	2.80	4.35	0.17	155.47
-518.40	20.60	-12.30	4.60	4.35	0.18	155.43
-520.20	6.20	-14.50	1.40	4.29	0.18	155.42
-491.30	22.90	-18.20	5.10	4.29	0.18	155.41
-475.50	16.70	-17.50	3.70	4.38	0.20	155.46
-526.90	15.10	-14.30	3.40	4.35	0.16	155.43
-498.60	8.40	-15.50	1.90	4.38	0.14	155.47
-511.60	4.30	-12.60	1.00	4.35	0.13	155.43
-495.20	23.20	-19.00	5.20	4.33	0.17	155.44
-466.70	20.00	-11.40	4.50	4.33	0.14	155.45
-508.70	13.20	-18.10	2.90	4.34	0.16	155.42
-471.80	6.20	-19.70	1.40	4.37	0.13	155.45
-496.80	11.40	-18.10	2.50	4.39	0.18	155.44
-454.10	2.20	-12.40	0.50	4.33	0.11	155.45
-510.60	17.30	-10.70	3.90	4.35	0.22	155.47
-522.90	19.60	-9.10	4.40	4.37	0.21	155.38

3. sor						
σ (MPa): 0,0°	(±)	τ (MPa): 0,0°	(±)	FWHM(°): 0,0°	(±)	2 θ : 0,0°
-470.30	8.10	-23.00	1.80	4.38	0.20	155.43
-454.60	24.60	-20.60	5.50	4.33	0.17	155.49
-458.10	16.90	-20.20	3.80	4.32	0.15	155.42
-506.70	8.00	-20.20	1.80	4.34	0.17	155.44
-516.00	9.50	-10.00	2.10	4.33	0.17	155.38
-554.10	8.60	-12.60	1.90	4.34	0.21	155.39
-460.30	4.70	-19.40	1.10	4.39	0.18	155.45
-488.10	3.50	-12.60	0.80	4.30	0.18	155.46
-550.90	20.60	-17.60	4.60	4.35	0.15	155.40
-527.30	9.00	-11.40	2.00	4.35	0.21	155.37
-458.40	14.20	-14.60	3.20	4.34	0.16	155.51
-510.30	10.50	-14.50	2.40	4.37	0.19	155.40
-486.80	16.10	-9.50	3.60	4.28	0.18	155.45
-498.80	12.10	-21.40	2.70	4.36	0.16	155.42
-511.00	19.00	-13.90	4.30	4.30	0.13	155.43
-491.10	8.80	-14.50	2.00	4.33	0.18	155.44
-500.20	11.10	-9.40	2.50	4.26	0.20	155.44

-500.40	6.70	-13.70	1.50	4.38	0.17	155.43
-534.60	16.90	-14.00	3.80	4.34	0.20	155.39
-486.60	25.80	-22.30	5.80	4.36	0.19	155.43
-511.00	17.20	-18.90	3.90	4.40	0.21	155.28
-520.30	13.90	-21.40	3.10	4.35	0.17	155.39
-500.70	7.00	-15.10	1.60	4.40	0.22	155.41
-497.10	3.50	-9.10	0.80	4.34	0.17	155.42
-487.80	13.00	1.90	2.90	4.34	0.21	155.44

11. Melléklet, MIL-A 46100/2 lemez próbatest befogóból felszabadított állapotában mért maradó feszültség eredményei

1. sor						
σ (MPa): 0,0°	(\pm)	τ (MPa): 0,0°	(\pm)	FWHM(°): 0,0°	(\pm)	2 θ : 0,0°
-539.40	16.40	-42.30	3.70	4.34	0.14	155.41
-418.00	11.20	-35.50	2.50	4.30	0.15	155.51
-416.30	7.80	-35.50	1.70	4.32	0.17	155.47
-400.40	11.90	-29.80	2.70	4.33	0.13	155.47
-376.20	13.60	-28.20	3.00	4.30	0.15	155.51
-324.90	16.20	-25.30	3.60	4.26	0.14	155.52
-322.80	10.20	-23.10	2.30	4.24	0.17	155.52
-257.30	12.60	-24.80	2.80	4.21	0.15	155.60
-301.50	13.60	-19.70	3.00	4.28	0.16	155.59
-280.80	9.30	-16.90	2.10	4.31	0.14	155.57
-283.40	4.60	-20.80	1.00	4.32	0.15	155.59
-290.70	13.50	-14.50	3.00	4.21	0.16	155.60
-271.30	7.50	-13.70	1.70	4.32	0.15	155.62
-280.70	8.60	-10.20	1.90	4.27	0.14	155.58
-310.20	11.10	-12.80	2.50	4.26	0.18	155.55
-230.60	0.90	-13.80	0.20	4.26	0.11	155.64
-265.30	4.60	-10.60	1.00	4.29	0.17	155.60
-265.50	9.80	-4.40	2.20	4.31	0.15	155.59
-234.60	8.30	-3.10	1.90	4.29	0.12	155.63
-294.70	13.70	-8.20	3.10	4.28	0.14	155.56
-340.80	2.10	-5.40	0.50	4.30	0.17	155.54
-363.00	4.30	4.50	1.00	4.27	0.14	155.53
-409.90	13.30	4.60	3.00	4.35	0.17	155.49
-436.30	2.30	3.90	0.50	4.37	0.17	155.47
-524.20	17.90	11.40	4.00	4.36	0.21	155.40

2. sor						
σ (MPa): 0,0°	(\pm)	τ (MPa): 0,0°	(\pm)	FWHM(°): 0,0°	(\pm)	2 θ : 0,0°
-513.50	13.90	-55.60	3.10	4.30	0.15	155.49
-488.80	20.70	-38.70	4.60	4.31	0.16	155.44

-466.50	21.90	-29.20	4.90	4.30	0.17	155.46
-384.10	17.80	-29.20	4.00	4.29	0.16	155.54
-397.10	15.70	-28.90	3.50	4.33	0.15	155.48
-301.60	12.90	-16.80	2.90	4.33	0.09	155.57
-314.90	14.30	-20.60	3.20	4.27	0.14	155.58
-302.90	8.40	-17.40	1.90	4.29	0.11	155.55
-322.40	4.30	-19.00	1.00	4.30	0.17	155.53
-274.70	17.40	-21.80	3.90	4.30	0.12	155.64
-312.30	16.80	-16.70	3.80	4.26	0.11	155.64
-298.00	12.80	-16.80	2.90	4.28	0.18	155.60
-284.50	15.80	-18.50	3.50	4.27	0.15	155.58
-261.10	18.10	-19.10	4.00	4.32	0.16	155.63
-297.90	10.70	-12.80	2.40	4.29	0.13	155.62
-266.50	19.10	-11.70	4.30	4.32	0.12	155.62
-259.60	18.60	-10.40	4.20	4.29	0.13	155.59
-253.10	6.90	-14.20	1.60	4.25	0.11	155.60
-250.70	9.70	-9.00	2.20	4.27	0.17	155.59
-282.10	9.30	-12.80	2.10	4.31	0.10	155.60
-276.20	9.40	-13.20	2.10	4.32	0.17	155.63
-360.90	20.70	-4.30	4.60	4.38	0.16	155.53
-369.80	4.30	-5.10	1.00	4.36	0.16	155.48
-466.70	18.50	3.00	4.10	4.29	0.16	155.41
-511.40	19.90	9.30	4.40	4.37	0.24	155.38

3. sor						
σ (MPa): 0,0°	(±)	τ (MPa): 0,0°	(±)	FWHM(°): 0,0°	(±)	2 θ : 0,0°
-511.40	30.40	-47.80	6.80	4.33	0.14	155.41
-431.20	22.70	-38.00	5.10	4.32	0.17	155.51
-389.30	10.00	-35.30	2.20	4.30	0.14	155.55
-421.90	12.80	-35.10	2.90	4.30	0.15	155.47
-366.30	14.60	-19.50	3.30	4.22	0.13	155.57
-346.70	11.30	-25.90	2.50	4.28	0.14	155.55
-310.20	18.40	-29.80	4.10	4.34	0.14	155.58
-305.40	20.30	-23.10	4.50	4.23	0.15	155.62
-337.20	6.80	-22.10	1.50	4.23	0.16	155.55
-316.60	9.10	-20.80	2.00	4.23	0.13	155.59
-244.20	6.90	-19.40	1.50	4.29	0.11	155.66
-271.70	12.60	-19.40	2.80	4.30	0.11	155.64
-285.60	12.10	-14.80	2.70	4.28	0.14	155.58
-286.30	13.40	-22.20	3.00	4.24	0.14	155.61
-290.30	14.60	-12.60	3.30	4.22	0.15	155.57
-263.80	16.90	-15.70	3.80	4.27	0.15	155.61
-259.10	8.10	-11.30	1.80	4.24	0.15	155.60

-275.40	8.50	-10.50	1.90	4.31	0.18	155.56
-274.60	12.60	-11.20	2.80	4.26	0.14	155.61
-248.50	7.20	-16.50	1.60	4.33	0.14	155.63
-326.10	7.50	-4.80	1.70	4.31	0.14	155.52
-380.50	16.50	-8.70	3.70	4.34	0.16	155.50
-426.90	3.20	-3.80	0.70	4.32	0.15	155.48
-466.90	12.20	4.30	2.70	4.33	0.14	155.47
-488.10	18.20	13.70	4.10	4.32	0.21	155.42

12. Melléklet, X6CrNiMoTi17-12-2/1 lemez próbatest befogóban mért feszültség eredményei

1. sor						
σ (MPa): 0,0°	(\pm)	τ (MPa): 0,0°	(\pm)	FWHM(°): 0,0°	(\pm)	2 θ : 0,0°
-60.90	3.50	-14.50	0.80	6.41	0.10	151.79
-138.90	20.50	-6.90	4.60	6.40	0.15	151.67
-253.00	31.40	-7.60	7.00	6.44	0.12	151.55
-309.00	40.30	2.60	9.00	6.36	0.15	151.55
-261.80	21.50	0.10	4.80	6.49	0.10	151.58
-247.70	17.90	10.00	4.00	6.54	0.18	151.49
-354.20	139.20	-10.20	31.10	6.74	0.30	151.43
-331.80	37.10	-19.20	8.30	7.09	0.17	151.45
-316.50	48.90	21.30	10.90	6.69	0.34	151.53
-238.10	8.30	7.50	1.90	6.53	0.18	151.49
-200.90	15.60	-4.20	3.50	6.41	0.11	151.59
-332.80	44.20	-9.60	9.90	6.51	0.05	151.46
-220.70	5.70	6.90	1.30	6.40	0.09	151.57
-230.80	21.30	-2.70	4.80	6.39	0.08	151.47
-234.70	12.70	1.70	2.80	6.49	0.07	151.54
-277.10	26.20	5.70	5.90	6.45	0.07	151.51
-240.80	15.70	6.60	3.50	6.40	0.09	151.53
-203.20	28.00	-0.50	6.30	6.41	0.05	151.59
-233.90	16.70	31.80	3.70	6.74	0.52	151.49
-306.20	28.30	-17.70	6.30	7.11	0.23	151.45
-313.70	95.60	-27.10	21.40	6.82	0.46	151.45
-245.20	17.60	-13.90	3.90	6.40	0.05	151.50
-207.60	22.50	-5.40	5.00	6.38	0.08	151.58
-218.50	34.80	4.20	7.80	6.37	0.14	151.57
-146.50	16.40	-7.40	3.70	6.30	0.07	151.70
-205.90	27.90	4.80	6.20	6.43	0.09	151.62
-134.80	11.90	-3.20	2.70	6.40	0.10	151.66

2. sor						
σ (MPa): 0,0°	(\pm)	τ (MPa): 0,0°	(\pm)	FWHM(°): 0,0°	(\pm)	2 θ : 0,0°

-153.00	39.70	-24.40	8.90	6.28	0.16	151.78
-114.50	10.90	-4.30	2.40	6.45	0.08	151.72
-211.60	19.00	-14.50	4.20	6.36	0.13	151.68
-226.00	16.10	2.40	3.60	6.45	0.06	151.61
-221.10	36.40	-10.40	8.10	6.34	0.13	151.63
-193.10	8.80	-6.10	2.00	6.34	0.06	151.71
-269.10	30.90	-7.20	6.90	6.48	0.13	151.55
-201.60	3.00	-4.40	0.70	6.47	0.12	151.62
-244.30	9.00	3.60	2.00	6.53	0.16	151.61
-332.90	16.30	-7.70	3.60	6.50	0.08	151.48
-260.80	7.70	-0.10	1.70	6.51	0.12	151.54
-239.20	15.10	-2.20	3.40	6.40	0.05	151.66
-224.10	21.20	-12.30	4.70	6.29	0.15	151.65
-236.60	23.20	-12.10	5.20	6.38	0.15	151.62
-253.20	13.90	-11.60	3.10	6.31	0.07	151.60
-238.20	22.30	-3.50	5.00	6.42	0.07	151.66
-202.60	19.30	0.00	4.30	6.39	0.08	151.57
-263.10	8.90	-1.70	2.00	6.52	0.06	151.54
-285.40	18.80	5.70	4.20	6.29	0.13	151.59
-265.30	11.40	-10.50	2.60	6.38	0.14	151.68
-222.00	25.40	-9.40	5.70	6.35	0.06	151.62
-262.20	23.90	-9.40	5.30	6.34	0.11	151.61
-214.30	10.40	-13.20	2.30	6.28	0.07	151.64
-161.80	9.20	-2.30	2.10	6.27	0.17	151.73
-288.00	38.10	-2.90	8.50	6.44	0.15	151.56
-117.10	21.60	3.20	4.80	6.25	0.12	151.70
-183.70	13.60	-2.30	3.00	6.41	0.08	151.64

3. sor						
σ (MPa): 0,0°	(±)	τ (MPa): 0,0°	(±)	FWHM(°): 0,0°	(±)	2 θ : 0,0°
-104.60	26.10	-53.90	5.80	6.26	0.14	151.77
-120.30	19.40	-9.00	4.30	6.17	0.12	151.66
-163.20	18.20	-12.20	4.10	6.32	0.06	151.61
-202.30	24.40	-9.90	5.50	6.42	0.16	151.63
-175.30	1.50	-1.40	0.30	6.38	0.08	151.66
-208.80	24.60	5.20	5.50	6.43	0.09	151.56
-122.10	42.50	17.40	9.50	6.55	0.19	151.62
-108.10	10.20	-22.90	2.30	6.43	0.25	151.73
-140.70	80.30	-31.00	18.00	6.47	0.31	151.62
-172.40	12.90	-2.40	2.90	6.25	0.10	151.66
-185.50	34.50	-3.20	7.70	6.33	0.11	151.69
-214.60	14.20	-7.00	3.20	6.48	0.06	151.61
-144.90	8.70	-3.50	2.00	6.34	0.12	151.69

-279.10	31.10	-2.90	7.00	6.36	0.14	151.49
-209.10	18.60	1.90	4.20	6.33	0.12	151.66
-255.40	30.40	-0.90	6.80	6.36	0.11	151.59
-192.70	11.80	-13.30	2.60	6.35	0.15	151.56
-255.30	28.00	-6.90	6.30	6.39	0.21	151.51
-268.30	18.30	1.50	4.10	6.36	0.18	151.55
-165.50	23.40	-12.80	5.20	6.31	0.07	151.70
-200.10	67.20	-29.80	15.00	6.61	0.12	151.54
-189.80	6.50	0.60	1.40	6.41	0.15	151.62
-186.80	9.60	-8.00	2.20	6.35	0.08	151.64
-238.60	6.50	-10.90	1.50	6.44	0.07	151.55
-186.10	30.20	-8.00	6.80	6.34	0.11	151.67
-247.30	30.20	-2.80	6.80	6.47	0.14	151.51
-179.50	19.60	9.20	4.40	6.52	0.10	151.56

13. Melléklet, X6CrNiMoTi17-12-2/1 lemez próbatest befogóból felszabadított állapotában mért maradó feszültség eredményei

1. sor						
σ (MPa): 0,0°	(±)	τ (MPa): 0,0°	(±)	FWHM(°): 0,0°	(±)	2 θ : 0,0°
-110.10	42.80	-61.00	9.60	6.40	0.19	151.67
-78.60	7.70	-9.30	1.70	6.47	0.17	151.63
-143.40	22.50	-10.00	5.00	6.40	0.19	151.73
-111.70	27.00	-5.70	6.00	6.42	0.18	151.58
-47.40	21.60	-7.40	4.80	6.43	0.11	151.68
-0.40	8.90	5.50	2.00	6.49	0.08	151.72
34.00	12.40	-6.40	2.80	6.37	0.08	151.78
64.80	11.70	-6.40	2.60	6.35	0.07	151.76
32.70	6.90	4.30	1.50	6.42	0.11	151.78
-28.90	14.60	3.40	3.30	6.49	0.14	151.73
21.70	23.00	-6.10	5.10	6.29	0.18	151.74
-30.60	17.50	-10.20	3.90	6.37	0.11	151.65
32.90	15.30	-5.20	3.40	6.26	0.10	151.75
27.20	2.60	0.80	0.60	6.37	0.12	151.74
-0.10	16.40	1.80	3.70	6.47	0.09	151.70
-32.20	17.50	3.80	3.90	6.40	0.15	151.67
15.50	24.70	5.00	5.50	6.41	0.03	151.71
40.00	7.80	-3.90	1.80	6.32	0.07	151.82
21.00	8.00	3.40	1.80	6.43	0.05	151.75
29.30	14.30	-9.50	3.20	6.40	0.07	151.74
32.70	22.50	-5.40	5.00	6.39	0.10	151.66
-0.50	1.30	-10.60	0.30	6.40	0.16	151.75
-5.00	28.90	-7.90	6.50	6.41	0.09	151.69
-54.30	9.90	6.20	2.20	6.43	0.05	151.69
-32.60	11.20	-12.00	2.50	6.32	0.14	151.80

-83.70	13.40	3.10	3.00	6.40	0.14	151.66
-97.20	12.30	4.50	2.70	6.33	0.13	151.66

2. sor						
σ (MPa): 0,0°	(\pm)	τ (MPa): 0,0°	(\pm)	FWHM(°): 0,0°	(\pm)	2 θ : 0,0°
-114.50	46.80	-34.00	10.50	6.21	0.09	151.76
-91.10	8.60	-5.00	1.90	6.40	0.12	151.70
-87.20	22.10	-16.50	4.90	6.39	0.07	151.67
-57.20	9.90	-0.40	2.20	6.37	0.13	151.68
29.20	12.10	-9.40	2.70	6.28	0.08	151.80
55.80	11.20	-9.10	2.50	6.22	0.13	151.94
36.40	13.40	-7.50	3.00	6.36	0.06	151.75
109.30	13.80	-0.60	3.10	6.33	0.06	151.84
54.90	8.60	-0.80	1.90	6.42	0.13	151.79
9.80	13.70	-7.30	3.10	6.39	0.09	151.79
29.40	14.30	-2.80	3.20	6.36	0.12	151.82
6.10	16.90	-7.20	3.80	6.39	0.05	151.80
61.80	18.30	-21.60	4.10	6.32	0.09	151.83
85.50	4.80	-6.10	1.10	6.32	0.14	151.83
24.80	8.40	-17.80	1.90	6.23	0.10	151.84
68.80	19.00	-17.40	4.30	6.40	0.06	151.84
60.50	6.40	-10.10	1.40	6.44	0.04	151.81
-12.30	19.60	-14.20	4.40	6.36	0.07	151.69
38.80	12.40	-2.40	2.80	6.23	0.10	151.76
79.00	7.60	-12.40	1.70	6.26	0.10	151.75
88.70	18.00	-14.50	4.00	6.37	0.14	151.79
10.60	18.60	-8.20	4.20	6.27	0.06	151.77
10.30	5.30	-13.70	1.20	6.36	0.12	151.79
11.30	16.50	-11.40	3.70	6.36	0.13	151.85
-95.30	16.70	-4.00	3.70	6.51	0.10	151.65
-42.20	10.20	2.60	2.30	6.29	0.12	151.71
-107.90	16.80	-10.30	3.80	6.45	0.10	151.60

3. sor						
σ (MPa): 0,0°	(\pm)	τ (MPa): 0,0°	(\pm)	FWHM(°): 0,0°	(\pm)	2 θ : 0,0°
-130.20	22.80	-55.10	5.10	6.34	0.09	151.80
-29.20	40.90	-5.80	9.10	6.17	0.10	151.75
-56.20	21.20	-12.80	4.70	6.29	0.13	151.65
-70.20	2.90	-10.20	0.70	6.33	0.11	151.60
18.60	8.80	-11.20	2.00	6.38	0.09	151.86
63.30	11.20	0.10	2.50	6.33	0.09	151.80
128.40	11.30	2.20	2.50	6.43	0.07	151.78
151.50	10.00	-9.00	2.20	6.28	0.10	151.92

23.50	17.60	-15.40	3.90	6.38	0.11	151.71
82.40	8.50	-1.80	1.90	6.22	0.12	151.81
69.00	18.10	-9.10	4.00	6.30	0.08	151.79
67.20	12.30	-15.00	2.70	6.32	0.09	151.79
82.20	18.70	-5.90	4.20	6.36	0.09	151.81
-22.90	22.20	-4.10	5.00	6.32	0.10	151.75
67.30	3.40	-1.90	0.80	6.29	0.20	151.77
-15.70	18.20	-6.00	4.10	6.27	0.09	151.75
60.00	12.60	-14.10	2.80	6.27	0.09	151.81
3.00	14.20	-11.80	3.20	6.38	0.13	151.79
44.70	14.70	-6.90	3.30	6.29	0.10	151.77
132.00	7.20	-18.10	1.60	6.26	0.14	151.90
36.60	12.60	-12.30	2.80	6.46	0.17	151.77
30.50	12.90	-5.50	2.90	6.39	0.09	151.76
14.90	19.10	-10.90	4.30	6.41	0.07	151.73
-46.30	17.60	-13.50	3.90	6.47	0.03	151.65
-32.20	17.30	-7.60	3.90	6.33	0.07	151.67
-142.20	28.10	-4.30	6.30	6.43	0.13	151.56
-97.70	23.00	12.10	5.10	6.52	0.13	151.62

14. Melléklet, X6CrNiMoTi17-12-2/2 lemez próbatest befogóban mért feszültség eredményei

1. sor						
σ (MPa): 0,0°	(±)	τ (MPa): 0,0°	(±)	FWHM(°): 0,0°	(±)	2 θ : 0,0°
-217.30	8.10	-13.00	1.80	6.40	0.12	151.57
-149.70	12.70	1.10	2.80	6.45	0.10	151.72
-228.60	34.00	2.90	7.60	6.46	0.13	151.63
-207.10	15.30	4.20	3.40	6.38	0.14	151.66
-177.10	18.80	8.80	4.20	6.47	0.11	151.63
-214.10	24.70	5.90	5.50	6.41	0.08	151.64
-188.40	38.40	5.30	8.60	6.47	0.19	151.61
-338.90	46.80	12.00	10.50	6.58	0.15	151.45
-206.80	7.10	6.20	1.60	6.39	0.11	151.58
-306.40	40.90	9.70	9.10	6.49	0.09	151.52
-239.40	18.70	-0.50	4.20	6.39	0.06	151.45
-229.20	19.50	7.60	4.40	6.41	0.15	151.49
-171.20	29.70	4.00	6.60	6.40	0.12	151.57
-105.90	4.20	19.00	0.90	6.37	0.05	151.76
-156.40	18.10	3.20	4.10	6.27	0.10	151.63
-253.40	17.10	13.90	3.80	6.41	0.13	151.53
-274.20	23.40	13.70	5.20	6.41	0.13	151.49
-243.90	21.70	5.90	4.90	6.32	0.08	151.54
-84.00	76.30	25.60	17.10	6.64	0.22	151.69

-129.10	32.50	-3.70	7.30	6.43	0.06	151.69
-310.10	30.70	-1.60	6.90	6.45	0.16	151.48
-238.60	23.90	6.10	5.30	6.38	0.11	151.56
-264.50	27.60	9.40	6.20	6.46	0.05	151.53
-232.10	30.00	6.60	6.70	6.39	0.11	151.57
-149.70	19.70	13.40	4.40	6.29	0.10	151.55
-125.30	38.20	17.70	8.50	6.34	0.17	151.62

2. sor						
σ (MPa): 0,0°	(±)	τ (MPa): 0,0°	(±)	FWHM(°): 0,0°	(±)	2 θ : 0,0°
-217.90	10.20	-16.50	2.30	6.34	0.11	151.68
-178.10	20.60	-12.80	4.60	6.33	0.05	151.69
-239.60	10.60	-5.60	2.40	6.29	0.18	151.63
-233.80	8.80	-6.90	2.00	6.37	0.07	151.69
-239.50	8.10	14.50	1.80	6.43	0.12	151.72
-201.30	12.60	-2.00	2.80	6.31	0.18	151.71
-280.80	17.20	8.90	3.90	6.43	0.11	151.55
-241.00	20.60	14.90	4.60	6.37	0.13	151.66
-193.50	5.70	11.00	1.30	6.34	0.10	151.73
-264.70	32.40	-8.60	7.20	6.42	0.14	151.60
-158.30	4.70	5.80	1.00	6.39	0.16	151.68
-250.50	16.20	9.00	3.60	6.45	0.11	151.55
-229.90	11.80	-12.00	2.60	6.47	0.10	151.55
-269.50	15.60	-6.50	3.50	6.48	0.18	151.59
-339.60	33.00	3.40	7.40	6.49	0.18	151.49
-237.30	24.00	7.30	5.40	6.54	0.10	151.63
-271.60	21.00	-1.00	4.70	6.40	0.09	151.57
-288.60	47.40	-1.00	10.60	6.38	0.18	151.55
-266.50	24.90	6.60	5.60	6.49	0.15	151.63
-266.30	30.60	-9.40	6.80	6.32	0.15	151.58
-202.90	7.90	-1.20	1.80	6.45	0.10	151.68
-216.70	37.80	2.40	8.50	6.41	0.10	151.60
-114.50	10.80	0.60	2.40	6.22	0.06	151.79
-61.60	6.60	-0.50	1.50	6.31	0.08	151.89
-192.70	24.10	0.20	5.40	6.31	0.07	151.66
-197.20	25.00	12.70	5.60	6.48	0.12	151.54

3. sor						
σ (MPa): 0,0°	(±)	τ (MPa): 0,0°	(±)	FWHM(°): 0,0°	(±)	2 θ : 0,0°
-155.30	10.20	-8.50	2.30	6.48	0.06	151.65
-141.40	22.50	-13.80	5.00	6.36	0.06	151.70

-168.70	17.90	-5.20	4.00	6.41	0.15	151.67
-273.10	19.40	3.60	4.30	6.37	0.15	151.51
-194.60	15.40	3.30	3.40	6.41	0.17	151.60
-141.30	48.30	17.50	10.80	6.52	0.23	151.62
-228.20	37.30	15.30	8.30	6.71	0.14	151.57
-123.80	70.80	-27.00	15.80	6.78	0.39	151.56
-144.50	22.70	-12.60	5.10	6.48	0.16	151.69
-175.90	16.10	3.70	3.60	6.44	0.05	151.70
-235.20	18.90	-4.90	4.20	6.42	0.11	151.60
-198.00	15.60	14.90	3.50	6.45	0.11	151.66
-256.70	29.70	5.50	6.60	6.53	0.09	151.50
-217.10	8.60	-8.00	1.90	6.36	0.16	151.61
-183.60	22.90	9.00	5.10	6.33	0.08	151.68
-287.00	15.30	8.30	3.40	6.49	0.16	151.50
-275.10	28.90	-0.20	6.50	6.45	0.12	151.45
-229.10	22.30	-9.80	5.00	6.45	0.21	151.55
-181.10	45.50	12.00	10.20	6.60	0.20	151.55
-198.40	34.50	-8.40	7.70	6.43	0.16	151.60
-197.40	17.70	-0.60	4.00	6.39	0.10	151.59
-316.50	4.50	2.00	1.00	6.45	0.15	151.48
-240.30	18.50	9.10	4.10	6.46	0.18	151.60
-251.40	27.80	5.30	6.20	6.35	0.07	151.57
-197.10	21.60	11.00	4.80	6.35	0.09	151.60
-155.20	27.20	17.50	6.10	6.34	0.08	151.59

15. Melléklet, X6CrNiMoTi17-12-2/2 lemez próbatest befogóból felszabadított állapotában mért maradó feszültség eredményei

1. sor						
σ (MPa): 0,0°	(±)	τ (MPa): 0,0°	(±)	FWHM(°): 0,0°	(±)	2 θ : 0,0°
-179.00	10.70	-15.10	2.40	6.51	0.13	151.45
-93.80	7.90	-2.00	1.80	6.34	0.11	151.70
-120.30	9.70	-1.20	2.20	6.35	0.10	151.66
14.40	7.20	2.60	1.60	6.29	0.08	151.88
38.90	19.40	17.30	4.30	6.36	0.07	151.77
34.50	9.80	7.40	2.20	6.36	0.12	151.72
123.20	16.90	1.80	3.80	6.43	0.16	151.92
16.60	13.00	9.90	2.90	6.35	0.15	151.76
16.70	12.40	1.40	2.80	6.36	0.13	151.71
-33.30	27.00	6.80	6.00	6.29	0.17	151.69
35.20	10.10	1.50	2.30	6.27	0.07	151.76
18.60	8.90	16.30	2.00	6.39	0.07	151.70
55.90	21.30	-0.70	4.80	6.37	0.09	151.81
118.20	6.50	15.60	1.50	6.39	0.09	151.87
83.90	16.70	2.10	3.70	6.32	0.12	151.79

-17.60	4.50	12.00	1.00	6.36	0.14	151.69
-7.10	20.20	4.60	4.50	6.44	0.07	151.67
14.10	10.90	3.10	2.40	6.34	0.11	151.70
56.30	16.60	0.40	3.70	6.45	0.10	151.81
105.60	13.20	4.00	2.90	6.30	0.15	151.75
-51.90	23.90	7.60	5.40	6.34	0.10	151.62
10.00	4.30	0.20	1.00	6.35	0.07	151.70
-94.40	20.70	19.80	4.60	6.36	0.06	151.63
-75.00	37.00	0.90	8.30	6.31	0.17	151.62
-38.30	20.00	9.30	4.50	6.28	0.11	151.71
-113.80	4.50	25.00	1.00	6.37	0.12	151.62

2. sor						
σ (MPa): 0,0°	(±)	τ (MPa): 0,0°	(±)	FWHM(°): 0,0°	(±)	2 θ : 0,0°
-210.90	5.40	-21.50	1.20	6.35	0.16	151.56
-74.60	10.70	-10.30	2.40	6.43	0.14	151.74
-80.40	5.90	-7.00	1.30	6.34	0.06	151.76
-29.40	16.70	-6.00	3.70	6.31	0.08	151.78
8.30	7.10	9.30	1.60	6.42	0.09	151.92
58.20	20.80	-10.30	4.60	6.29	0.08	151.92
54.70	6.10	10.60	1.40	6.32	0.07	151.86
66.90	3.90	9.50	0.90	6.29	0.11	151.80
91.70	4.80	19.80	1.10	6.39	0.13	151.92
33.40	14.90	-7.70	3.30	6.35	0.09	151.86
107.80	0.80	4.20	0.20	6.37	0.11	151.91
51.70	10.40	3.70	2.30	6.36	0.07	151.85
71.20	11.00	-11.20	2.50	6.34	0.06	151.77
0.80	11.80	-5.30	2.60	6.37	0.13	151.77
-29.10	17.50	-1.90	3.90	6.37	0.08	151.69
77.40	5.80	-3.20	1.30	6.41	0.15	151.80
12.90	8.50	-1.20	1.90	6.30	0.10	151.74
27.90	14.30	-1.40	3.20	6.31	0.05	151.75
107.70	4.00	-17.00	0.90	6.23	0.10	151.84
96.90	11.10	2.40	2.50	6.30	0.13	151.87
51.60	4.20	-0.30	0.90	6.35	0.08	151.79
64.50	4.40	-1.40	1.00	6.23	0.05	151.82
87.90	14.10	-14.20	3.10	6.23	0.09	151.97
73.40	16.50	1.00	3.70	6.29	0.07	151.89
-118.40	17.80	3.90	4.00	6.36	0.13	151.66
-134.30	41.70	10.30	9.30	6.42	0.15	151.63

3. sor						
σ (MPa): 0,0°	(±)	τ (MPa): 0,0°	(±)	FWHM(°): 0,0°	(±)	2 θ : 0,0°

-150.00	3.30	-10.50	0.70	6.51	0.10	151.65
-42.40	5.20	-6.90	1.20	6.36	0.14	151.82
-56.20	21.40	9.00	4.80	6.37	0.12	151.84
-108.80	9.40	7.90	2.10	6.44	0.11	151.73
41.80	9.80	-0.70	2.20	6.46	0.14	151.76
87.80	11.30	7.80	2.50	6.37	0.11	151.82
24.40	14.00	-0.20	3.10	6.48	0.15	151.77
49.30	18.00	-2.10	4.00	6.41	0.06	151.72
99.50	8.30	0.40	1.90	6.33	0.11	151.84
28.80	23.30	-1.70	5.20	6.41	0.06	151.81
42.60	21.60	-2.00	4.80	6.33	0.11	151.76
74.60	9.70	9.90	2.20	6.33	0.09	151.81
0.50	17.30	-0.60	3.90	6.43	0.07	151.70
66.50	8.80	-7.30	2.00	6.28	0.10	151.77
102.20	5.90	4.40	1.30	6.24	0.08	151.88
-33.00	12.00	1.40	2.70	6.37	0.05	151.72
-33.10	36.50	-1.60	8.20	6.41	0.09	151.68
26.10	2.70	-10.20	0.60	6.40	0.16	151.78
83.50	18.80	-11.90	4.20	6.43	0.17	151.75
110.00	13.40	-3.50	3.00	6.46	0.07	151.76
116.20	3.40	0.20	0.80	6.29	0.11	151.82
-24.20	28.30	-2.50	6.30	6.37	0.08	151.70
-77.20	10.60	8.00	2.40	6.39	0.18	151.61
-87.70	34.10	-0.40	7.60	6.39	0.09	151.62
-90.00	28.00	-0.20	6.30	6.45	0.17	151.68
-126.30	28.30	11.30	6.30	6.33	0.15	151.67

16. Melléklet, 42CrMo4 lemez próbatest hátsó, nem szórt oldalának maradó feszültség eredményei

hi feszültség, hossz traverz						
σ (MPa): 0,0°	(\pm)	τ (MPa): 0,0°	(\pm)	FWHM(°): 0,0°	(\pm)	2 θ : 0,0°
-481.40	6.90	22.00	1.40	2.50	0.10	155.54
-281.00	5.80	0.40	1.20	2.46	0.09	155.62
-292.80	6.70	-7.00	1.30	2.42	0.09	155.65
-334.70	5.20	-8.00	1.00	2.45	0.09	155.59
-308.30	5.30	-8.30	1.00	2.47	0.09	155.64
-316.00	7.20	-10.00	1.40	2.46	0.10	155.61
-330.60	5.20	-12.90	1.00	2.48	0.10	155.61
-292.30	6.60	-16.70	1.30	2.46	0.09	155.60
-619.20	8.80	-53.10	1.70	2.49	0.14	155.37
hi feszültség, kereszt traverz						
σ (MPa): 0,0°	(\pm)	τ (MPa): 0,0°	(\pm)	FWHM(°): 0,0°	(\pm)	2 θ : 0,0°
-309.10	6.90	-14.40	1.40	2.45	0.09	155.64
-321.30	6.70	-9.40	1.30	2.44	0.10	155.61

-304.60	5.50	-9.50	1.10	2.46	0.08	155.64
-317.70	3.90	-8.80	0.80	2.44	0.09	155.60
-315.60	5.10	-9.50	1.00	2.43	0.09	155.61
ki feszültség, kereszt traverz						
σ (MPa): 0,0°	(±)	τ (MPa): 0,0°	(±)	FWHM(°): 0,0°	(±)	2 θ : 0,0°
-516.50	4.60	1.20	0.90	2.44	0.11	155.61
-571.30	6.20	-4.10	1.20	2.48	0.09	155.57
-552.70	5.20	-10.20	1.00	2.48	0.12	155.60
-547.20	4.60	-15.50	0.90	2.47	0.11	155.60
-545.10	2.90	-19.20	0.60	2.47	0.09	155.59

17. Melléklet, MIL-A 46100 lemez próbatest hátsó, nem szórt oldalának maradó feszültség eredményei

hi feszültség, hossz traverz						
σ (MPa): 0,0°	(±)	τ (MPa): 0,0°	(±)	FWHM(°): 0,0°	(±)	2 θ : 0,0°
-570.80	20.50	65.00	4.00	3.47	0.17	155.34
-405.70	16.60	43.90	3.30	3.45	0.14	155.46
-448.30	18.60	36.60	3.70	3.44	0.13	155.45
-441.70	21.40	34.40	4.20	3.45	0.13	155.45
-471.40	20.20	31.30	4.00	3.45	0.12	155.46
-479.40	21.20	29.00	4.20	3.45	0.13	155.40
-431.70	22.90	28.10	4.50	3.45	0.12	155.42
-438.80	24.80	19.20	4.90	3.47	0.17	155.43
-617.50	21.90	-6.00	4.30	3.50	0.16	155.28
hi feszültség, kereszt traverz						
σ (MPa): 0,0°	(±)	τ (MPa): 0,0°	(±)	FWHM(°): 0,0°	(±)	2 θ : 0,0°
-480.50	21.40	28.40	4.20	3.45	0.13	155.39
-493.70	22.50	29.90	4.40	3.47	0.13	155.42
-482.20	17.30	28.60	3.40	3.49	0.14	155.40
-480.70	21.70	29.20	4.30	3.46	0.12	155.40
-499.80	22.50	29.50	4.40	3.49	0.14	155.35
ki feszültség, kereszt traverz						
σ (MPa): 0,0°	(±)	τ (MPa): 0,0°	(±)	FWHM(°): 0,0°	(±)	2 θ : 0,0°
-763.50	4.60	3.60	0.90	3.52	0.14	155.35
-797.60	4.20	-1.20	0.80	3.52	0.12	155.30
-781.00	5.80	-11.30	1.10	3.52	0.11	155.34
-784.50	2.90	-20.60	0.60	3.54	0.14	155.32
-783.70	6.50	-25.80	1.30	3.52	0.13	155.32

18. Melléklet, X6CrNiMoTi17-12-2 lemez próbatest hátsó, nem szórt oldalának maradó feszültség eredményei

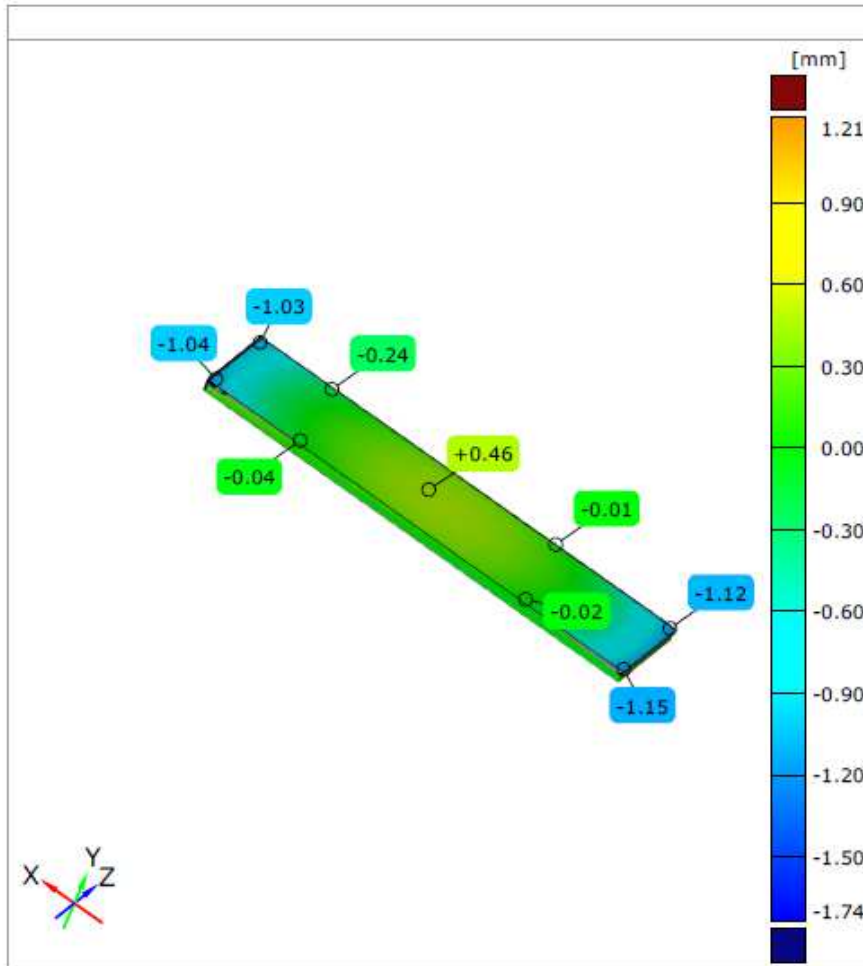
hi feszültség, hossz traverz						
σ (MPa): 0,0°	(±)	τ (MPa): 0,0°	(±)	FWHM(°): 0,0°	(±)	2 θ :

						0.0°
-585.60	27.20	44.80	6.10	4.71	0.29	151.11
-365.10	17.50	2.40	3.90	4.61	0.24	151.36
-471.90	7.00	-4.10	1.60	4.59	0.20	151.33
-471.40	27.30	-15.80	6.10	4.59	0.24	151.33
-427.80	13.20	-8.30	3.00	4.54	0.27	151.37
-450.90	19.90	-15.30	4.40	4.65	0.19	151.30
-480.50	19.70	-21.40	4.40	4.73	0.22	151.27
-357.20	6.60	-17.00	1.50	4.62	0.19	151.45
-555.90	9.50	-57.30	2.10	4.70	0.32	151.21
hi feszültség, kereszt traverz						
σ (MPa): 0.0°	(±)	τ (MPa): 0.0°	(±)	FWHM(°): 0.0°	(±)	2 θ : 0.0°
-489.80	22.90	-12.60	5.10	4.90	0.27	151.22
-459.40	27.10	-10.90	6.10	4.56	0.26	151.29
-416.00	6.10	-11.90	1.40	4.52	0.21	151.38
-475.20	16.10	-8.20	3.60	4.58	0.24	151.27
-482.10	32.60	-1.90	7.30	4.77	0.26	151.23
ki feszültség, kereszt traverz						
σ (MPa): 0,0°	(±)	τ (MPa): 0,0°	(±)	FWHM(°): 0,0°	(±)	2 θ : 0,0°
-795.80	19.60	-109.70	4.40	4.94	0.46	151.16
-845.30	12.50	-73.70	2.80	4.75	0.37	151.12
-848.20	15.90	-17.30	3.60	4.74	0.39	151.28
-853.70	3.30	58.90	0.70	4.73	0.36	151.21
-769.80	49.20	65.90	11.00	4.93	0.36	151.19

19. Melléklet, 42CrMo4/1/ szórt oldal 3D mérések eredményei

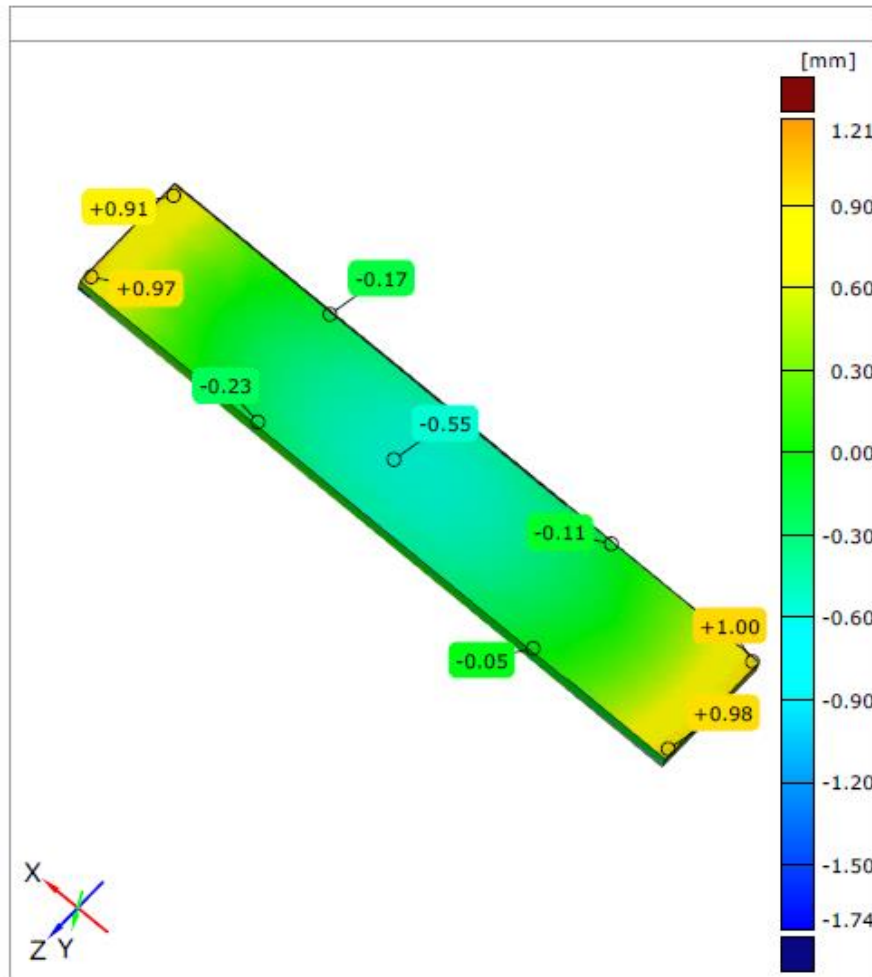
Generated with GOM Inspect V8

Untitled



20. Melléklet, 42CrMo4/1/ hátsó oldal 3D mérések eredményei

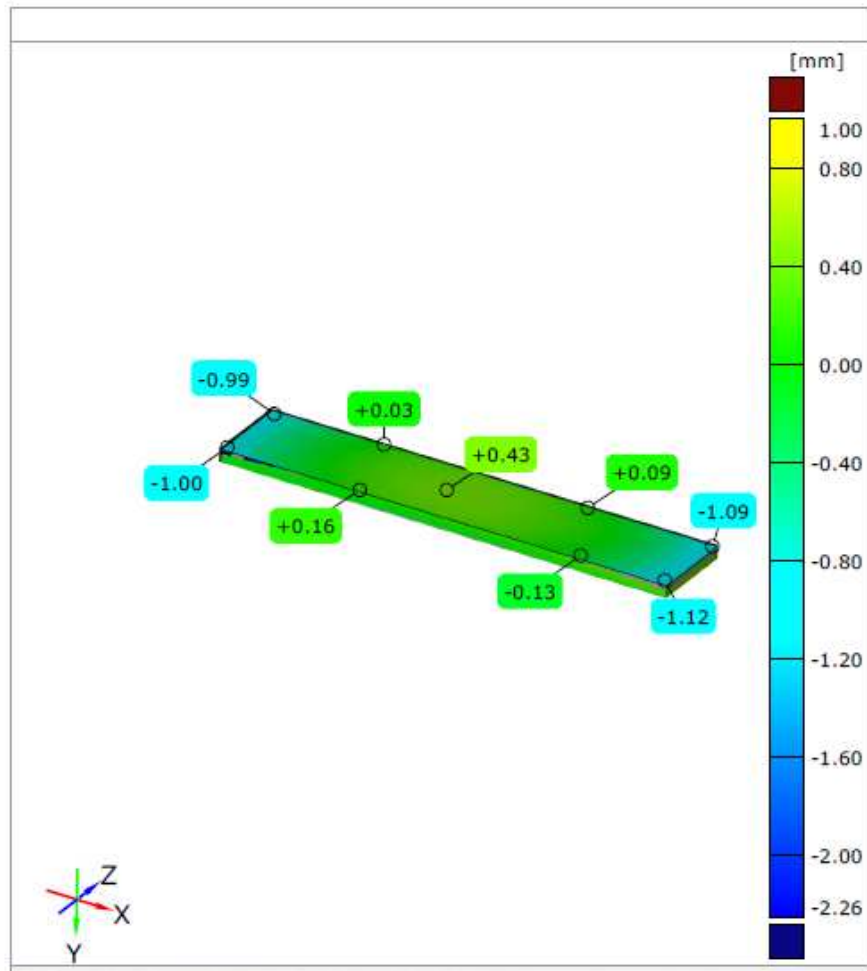
gom



21. melléklet, 42CrMo4/2/ szórt oldal 3D mérések eredményei

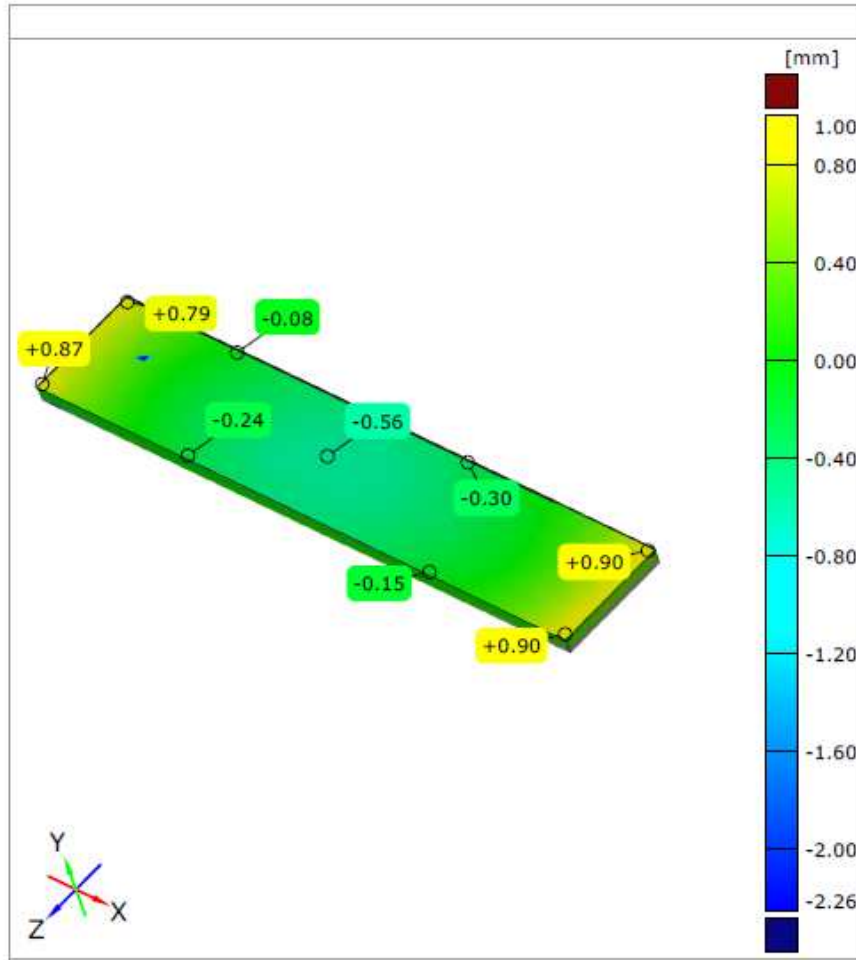
Generated with GOM Inspect V8

Untitled



22. Melléklet, 42CrMo4/2/ hátsó oldal 3D mérések eredményei

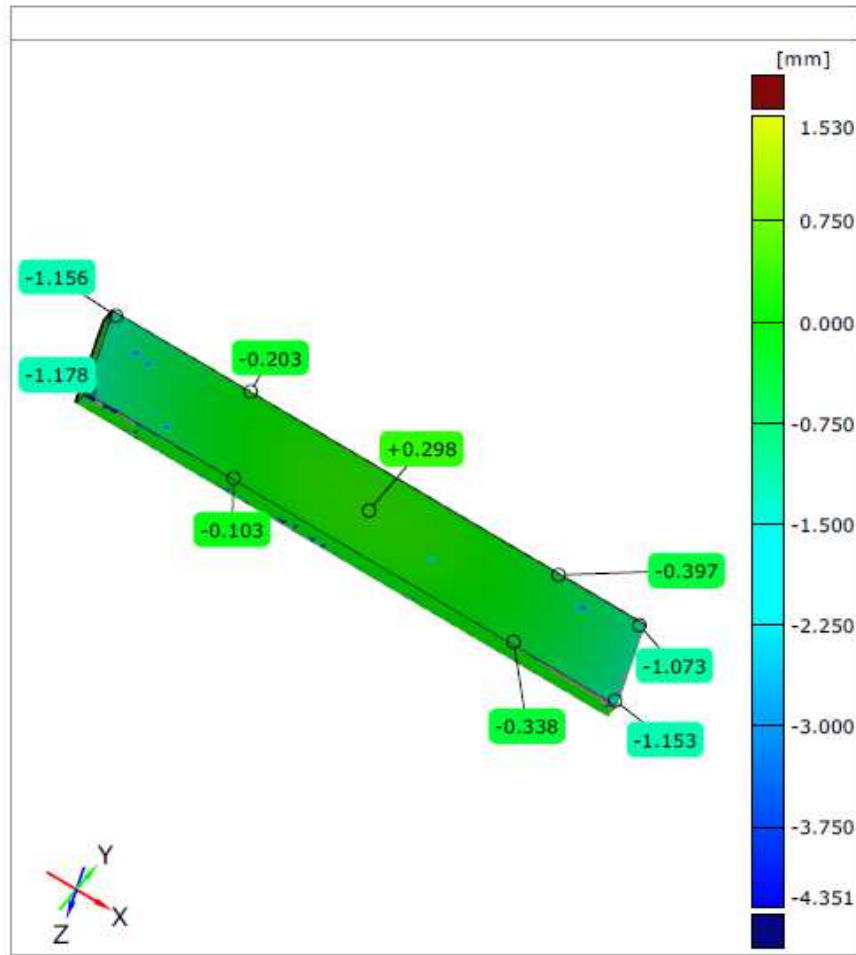
gom



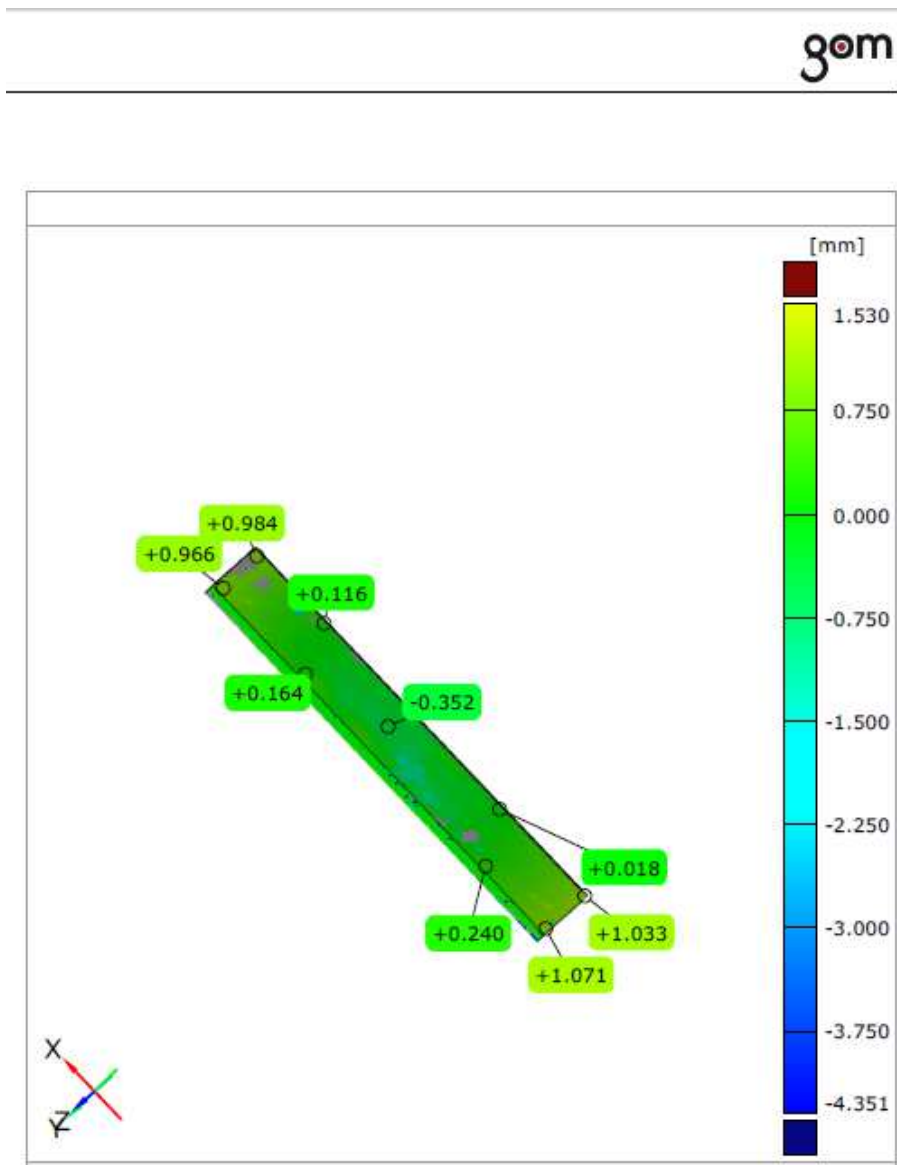
23. Melléklet, MIL-A 46100/1 szórt oldal 3D mérések eredményei

Generated with GOM Inspect V8

Comperation5



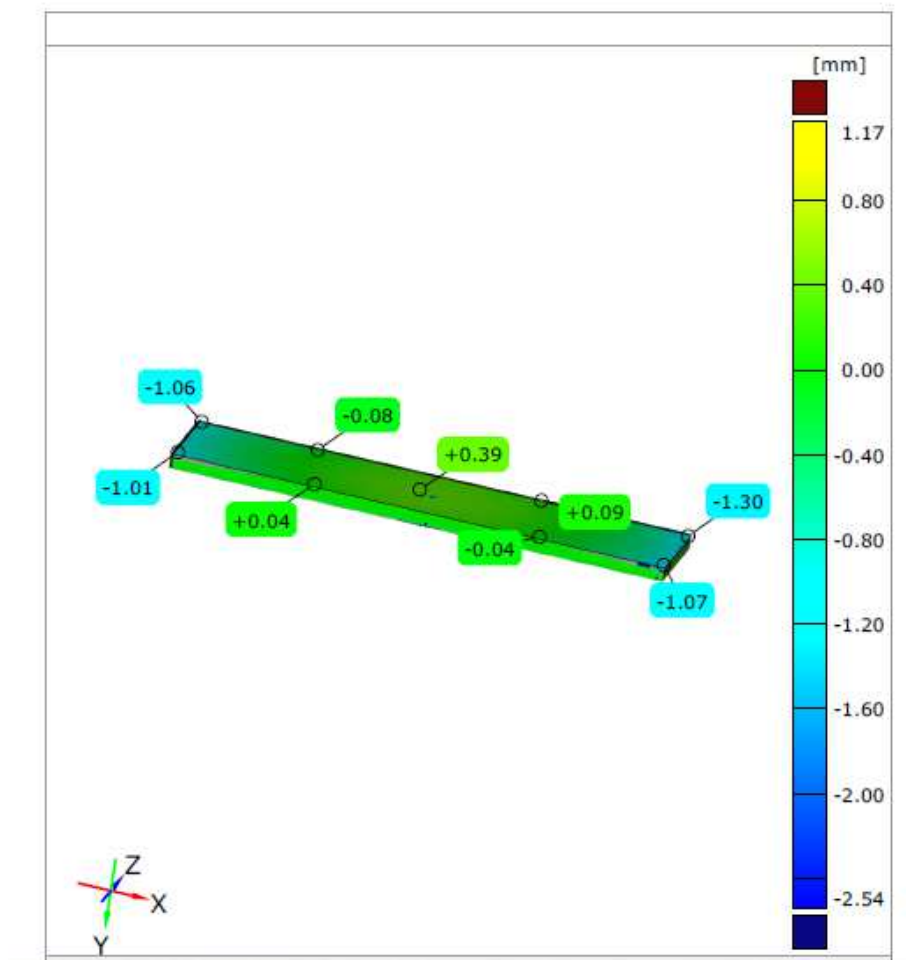
24. Melléklet, MIL-A 46100/1 hátsó oldal 3D mérések eredményei



25. Melléklet, MIL-A 46100/2 szórt oldal 3D mérések eredményei

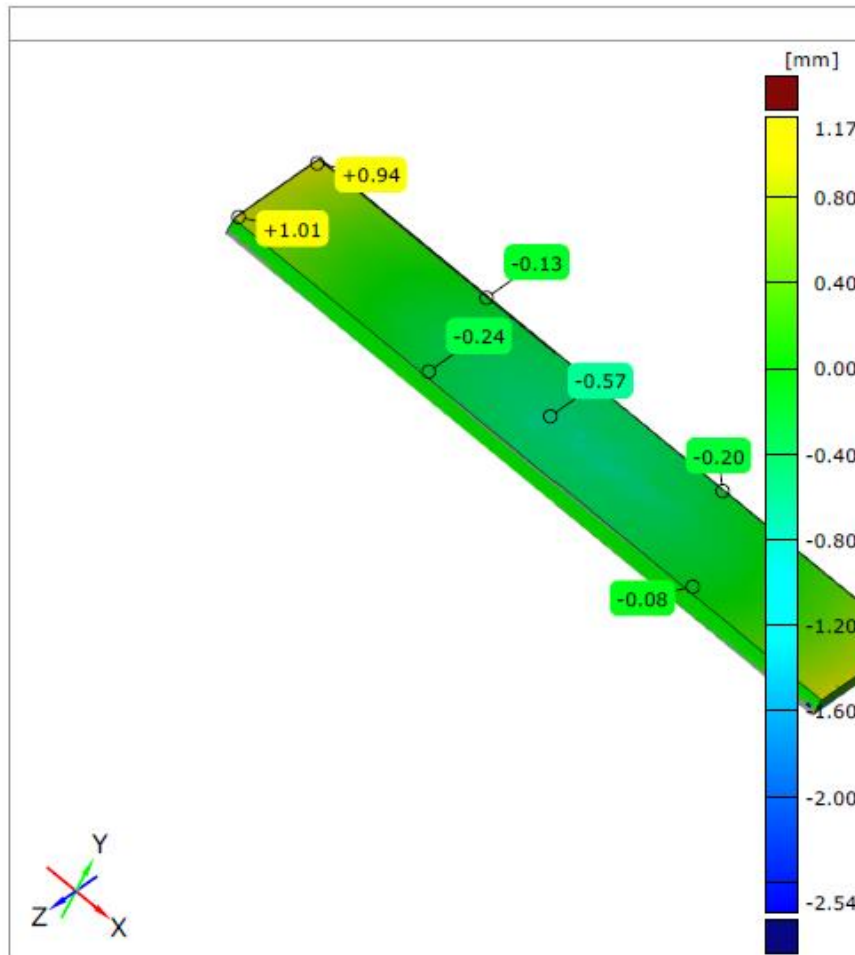
Generated with GOM Inspect V8

Comperation6



26. Melléklet, MIL-A 46100/2 hátsó oldal 3D mérések eredményei

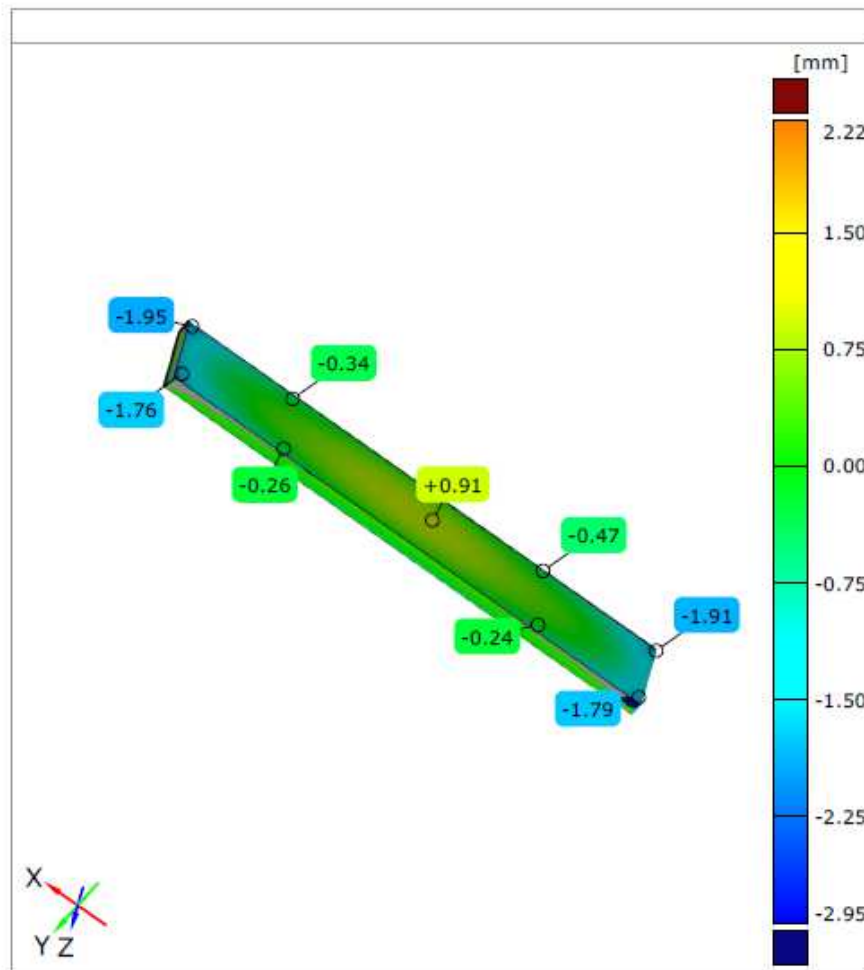
gom



27. Melléklet, X6CrNiMoTi17-12-2/1szórt oldal 3D mérések eredményei

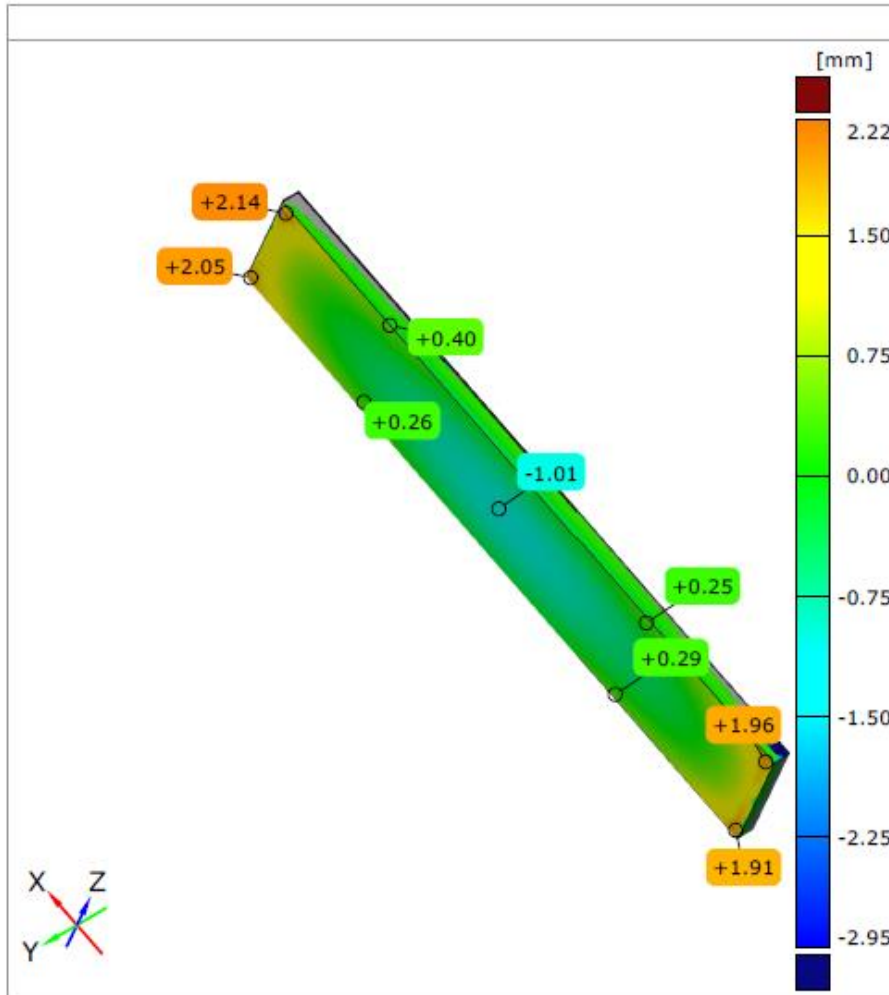
Generated with GOM Inspect V8

Comperation1



28. Melléklet, X6CrNiMoTi17-12-2/1hátsó oldal 3D mérések eredményei

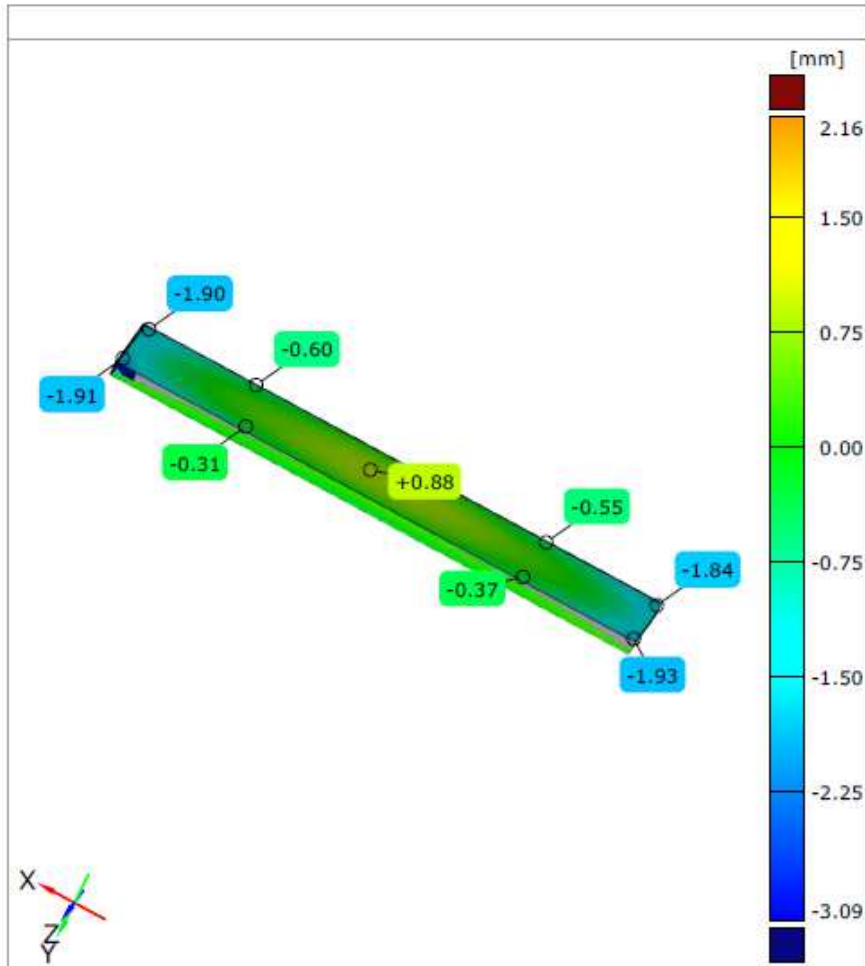
gom



29. Melléklet, X6CrNiMoTi17-12-2/2szórt oldal 3D mérések eredményei

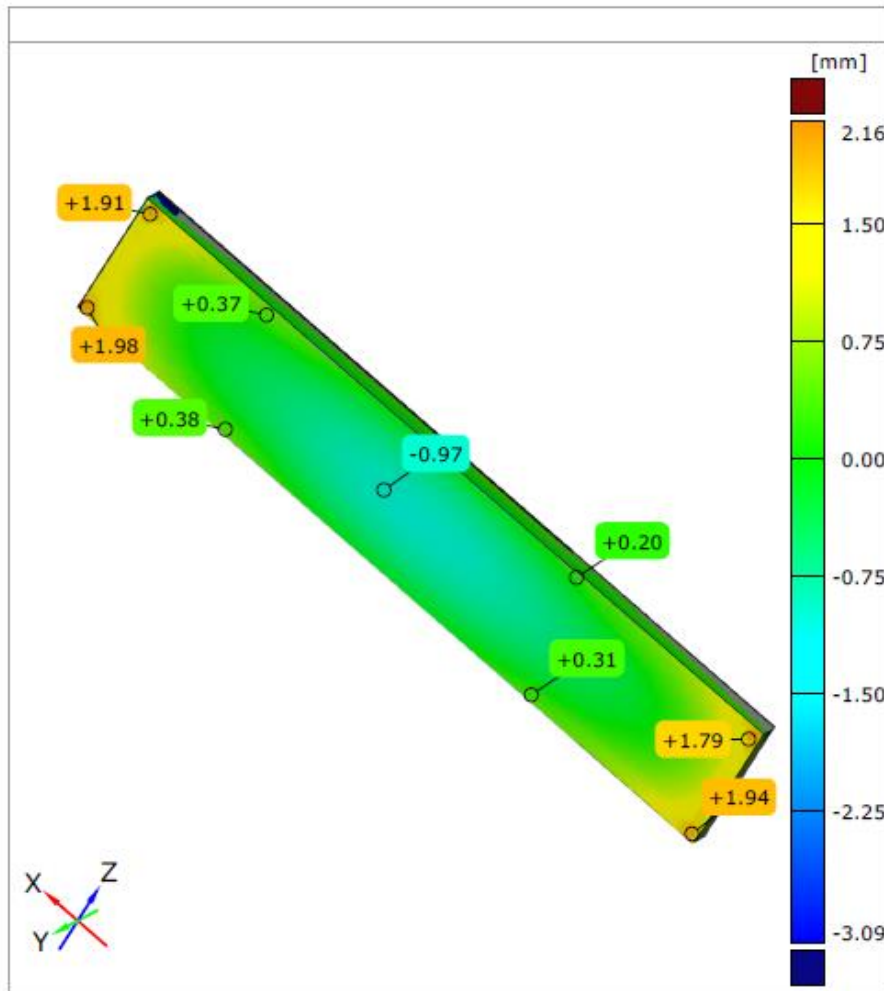
Generated with GOM Inspect V8

Comperation2



30. Melléklet, X6CrNiMoTi17-12-2/2hátsó oldal 3D mérések eredményei

gom



31. Melléklet, 42CrMo4 fárasztó próbatest mélység profil

mélység, mm	σ (MPa): 0,0°	(±)	τ (MPa): 0,0°	(±)	FWHM(°): 0,0°	(±)	2 θ : 0,0°
0.000	-384.60	15.10	14.50	3.10	4.00	0.13	155.64
0.003	-395.40	7.80	10.50	1.60	3.71	0.09	155.65
0.012	-439.10	7.70	13.90	1.60	3.61	0.10	155.62
0.025	-481.90	10.10	14.70	2.10	3.47	0.12	155.56
0.041	-513.20	16.90	9.30	3.50	3.35	0.10	155.53
0.081	-546.30	6.20	12.30	1.30	3.17	0.08	155.47
0.129	-558.40	11.40	8.60	2.30	3.04	0.10	155.46
0.216	-629.50	21.70	6.50	4.50	2.97	0.13	155.37
0.309	-620.50	20.30	11.30	4.20	2.89	0.11	155.37
0.408	-541.10	8.80	8.10	1.80	2.74	0.10	155.45
0.501	-386.70	11.90	9.60	2.40	2.69	0.12	155.60
0.701	-176.60	22.80	9.00	4.70	2.55	0.09	155.87
1.075	-17.40	26.60	6.20	5.50	2.49	0.08	155.99
1.493	-106.10	6.00	7.00	1.20	2.54	0.13	155.91

32. Melléklet az 1. számú 42CrMo4 fárasztó próbatest maradó feszültség adatai

1./ sörétezett							
hely	σ (MPa): 0.0°	(±)	τ (MPa): 0.0°	(±)	FWHM(°): 0.0°	(±)	2 θ : 0.0°
a1	-467.40	10.50	-3.60	2.20	3.93	0.12	151.95
b1	-404.10	10.00	5.60	2.10	3.95	0.13	152.01
c1	-468.30	10.20	0.10	2.10	4.12	0.12	151.93
d1	-440.00	8.00	3.10	1.60	3.79	0.11	151.97
a2	-465.30	13.20	-9.40	2.70	3.88	0.12	151.96
b2	-436.10	7.60	3.80	1.60	4.00	0.14	151.90
c2	-481.20	12.10	-1.50	2.50	4.11	0.13	151.92
d2	-452.10	7.30	-3.20	1.50	3.87	0.11	151.98
a3	-444.30	3.10	-12.30	0.60	3.85	0.12	151.96
b3	-406.30	5.00	-1.20	1.00	4.07	0.13	151.92
c3	-471.70	10.10	-5.20	2.10	4.17	0.13	151.92
d3	-461.90	9.90	0.40	2.00	3.89	0.11	151.96
1./ törött							
hely	σ (MPa): 0.0°	(±)	τ (MPa): 0.0°	(±)	FWHM(°): 0.0°	(±)	2 θ : 0.0°
a1	-147.80	19.20	25.70	4.00	3.32	0.12	156.03
b1	-158.40	17.70	21.20	3.60	3.57	0.09	156.07
c1	-158.90	34.80	36.90	7.20	3.65	0.06	156
d1	-47.00	18.00	47.80	3.70	3.25	0.08	156.14
a2	-308.40	6.70	15.50	1.40	3.82	0.12	155.71
b2	-326.20	6.60	1.30	1.40	4.05	0.11	155.69
c2	-349.40	12.20	4.10	2.50	4.09	0.15	155.63
d2	-205.10	5.30	6.10	1.10	3.76	0.11	155.86
a3	-291.70	4.00	25.00	0.80	3.98	0.11	155.76

b3	-278.90	11.40	20.10	2.30	4.06	0.17	155.69
c3	-324.70	8.10	20.60	1.70	4.15	0.16	155.65
d3	-193.80	6.00	16.30	1.20	3.89	0.1	155.88

33. Melléklet a 2. számú 42CrMo4 fásztó próbatest maradó feszültség adatai

2./ sörétezett							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-378	10.1	-6.9	2.1	4.04	0.09	152
a2	-451.4	6.4	8.3	1.3	3.96	0.13	151.94
a3	-451.2	5.6	-3.5	1.2	4.15	0.13	151.91
b1	-445.7	9.9	10.7	2	4.15	0.13	151.98
b2	-336.3	6.6	-1	1.4	3.74	0.09	152.01
b3	-352.7	5.8	3.2	1.2	3.81	0.1	152
c1	-430.3	12.1	7.4	2.5	4.15	0.11	151.93
c2	-327.2	9.6	-6	2	3.96	0.1	151.97
c3	-321.8	10.2	5.3	2.1	3.71	0.12	152.08
d1	-401.6	8.3	-1.8	1.7	3.77	0.11	152.05
d2	-424.4	12.8	-2.8	2.6	3.87	0.14	151.96
d3	-372.7	9.8	-3.4	2	3.95	0.11	152.01
2./ törött							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-352.8	6.4	2.1	1.3	3.99	0.16	155.63
a2	-324.7	4.2	23.6	0.9	4.07	0.16	155.66
a3	-310.1	9.1	25.9	1.9	4.09	0.16	155.72
b1	-297.1	10.5	21	2.2	4.1	0.12	155.71
b2	-227.6	12.6	-3.5	2.6	3.79	0.09	155.78
b3	-270.7	4.4	7.6	0.9	3.79	0.11	155.77
c1	-264.6	13.4	5.2	2.8	4.08	0.13	155.69
c2	-243.2	6.5	2	1.3	3.9	0.12	155.74
c3	-273.1	9.8	4.4	2	3.92	0.09	155.77
d1	-245.4	10.3	0.3	2.1	3.64	0.11	155.77
d2	-274.8	3.8	3.2	0.8	3.74	0.12	155.7
d3	-278.4	9.3	-0.2	1.9	3.98	0.13	155.76

34. Melléklet a3. számú 42CrMo4 fásztó próbatest maradó feszültség adatai

3./ sörétezett							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-246.40	11.30	3.10	2.30	3.35	0.10	152.17
a2	-335.30	12.30	5.60	2.50	3.59	0.10	152.05
a3	-296.20	10.50	5.90	2.20	3.66	0.09	152.10
b1	-320.60	10.80	6.70	2.20	3.73	0.08	152.03
b2	-217.40	7.60	1.90	1.60	3.52	0.07	152.13
b3	-216.70	7.00	-9.80	1.40	3.62	0.08	152.13

c1	-314.40	6.20	-6.20	1.30	3.73	0.11	152.06
c2	-300.60	6.30	-7.00	1.30	3.74	0.10	152.09
c3	-233.50	11.70	1.90	2.40	3.53	0.09	152.14
d1	-281.20	12.00	5.10	2.50	3.62	0.10	152.07
d2	-319.70	5.80	-2.80	1.20	3.70	0.09	152.07
d3	-267.90	10.10	-11.00	2.10	3.75	0.08	152.08
3./ törött							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-72.00	24.60	43.60	5.00	3.06	0.08	156.07
a2	-80.90	17.30	10.10	3.50	3.40	0.05	156.05
a3	-104.30	16.60	17.70	3.40	3.37	0.09	156.04
b1	-100.90	18.50	38.20	3.80	3.42	0.08	156.06
b2	-158.80	8.50	6.90	1.80	3.46	0.11	155.88
b3	-174.80	7.10	-0.30	1.50	3.56	0.12	155.85
c1	-232.90	9.20	4.10	1.90	3.66	0.1	155.78
c2	-215.30	8.60	8.00	1.80	3.73	0.09	155.78
c3	-109.80	3.80	8.20	0.80	3.48	0.06	155.93
d1	-197.00	6.90	18.50	1.40	3.59	0.11	155.77
d2	-211.20	6.80	3.20	1.40	3.68	0.08	155.83
d3	-178.80	12.40	15.30	2.50	3.70	0.1	155.82

35. Melléklet a 4. számú 42CrMo4 fárasztó próbatest maradó feszültség adatai

4./ sörézett							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-351.7	5.9	10.7	1.2	4.07	0.14	155.67
a2	-362.8	7.3	20.1	1.5	4.12	0.14	155.68
a3	-350.1	10.1	20.2	2.1	4.19	0.12	155.65
b1	-381.4	13.1	8.5	2.7	4.25	0.13	155.57
b2	-382.6	10.2	9.6	2.1	4.05	0.13	155.62
b3	-320.2	8.8	12.2	1.8	4.17	0.12	155.65
c1	-326.5	7.9	13.5	1.6	4.19	0.13	155.63
c2	-366.6	12.3	-7.3	2.5	4.25	0.15	155.59
c3	-378.3	8.9	11.6	1.8	4.07	0.12	155.62
d1	-416.5	8.6	22.1	1.8	4.16	0.14	155.58
d2	-422.3	7.4	4.4	1.5	4.31	0.16	155.57
d3	-412.8	8.7	8.6	1.8	4.26	0.14	155.58
4./ törött							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-330.4	10	12.8	2.1	3.98	0.15	155.67
a2	-274.3	7.7	27.4	1.6	4.05	0.16	155.7
a3	-285.2	11.6	20.9	2.4	4.14	0.13	155.64
b1	-307.5	3.6	11.3	0.7	4.16	0.17	155.64
b2	-324.1	10.8	0	2.2	4	0.13	155.6
b3	-288.2	4.6	12.9	1	4.14	0.12	155.72

c1	-285.6	11.2	-0.1	2.3	4.16	0.11	155.73
c2	-339.1	8.4	-4.2	1.7	4.2	0.1	155.65
c3	-346.4	3.1	-9.7	0.6	4.09	0.14	155.68
d1	-377.2	10.2	-0.7	2.1	4.11	0.15	155.62
d2	-370.8	7.9	-6.2	1.6	4.28	0.14	155.59
d3	-376.1	4	-7.9	0.8	4.32	0.15	155.61

36. Melléklet az 5. számú 42CrMo4 fárasztó próbatest maradó feszültség adatai

5./ sörétezett							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-247.80	9.70	19.10	2.00	3.77	0.10	155.73
a2	-283.60	12.10	15.40	2.50	3.78	0.08	155.73
a3	-264.60	9.30	11.40	1.90	3.61	0.13	155.76
b1	-281.40	9.20	21.80	1.90	3.67	0.09	155.72
b2	-282.80	12.70	29.20	2.60	3.83	0.10	155.63
b3	-280.10	7.00	27.70	1.40	3.76	0.07	155.69
c1	-220.80	10.50	10.50	2.20	3.66	0.11	155.75
c2	-229.80	11.40	22.40	2.30	3.59	0.06	155.75
c3	-283.70	6.50	18.20	1.30	3.71	0.09	155.73
d1	-264.80	8.20	13.90	1.70	3.75	0.08	155.75
d2	-234.10	5.00	8.40	1.00	3.65	0.10	155.79
d3	-294.90	3.80	19.10	0.80	3.52	0.11	155.73
5./ törött							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-214.20	5.80	14.20	1.20	3.79	0.12	155.74
a2	-208.20	9.00	15.70	1.80	3.70	0.1	155.79
a3	-203.20	11.70	8.40	2.40	3.55	0.11	155.79
b1	-212.10	7.80	11.10	1.60	3.60	0.11	155.78
b2	-237.50	7.20	11.80	1.50	3.82	0.08	155.7
b3	-226.80	10.20	5.40	2.10	3.72	0.1	155.78
c1	-172.00	6.80	-4.60	1.40	3.64	0.09	155.84
c2	-160.80	8.60	8.60	1.80	3.59	0.12	155.81
c3	-236.40	5.30	8.30	1.10	3.72	0.1	155.77
d1	-203.40	7.00	-6.40	1.40	3.73	0.12	155.83
d2	-172.80	3.00	-6.80	0.60	3.59	0.11	155.82
d3	-186.30	3.90	7.10	0.80	3.46	0.12	155.84

37. Melléklet a 6. számú 42CrMo4 fárasztó próbatest maradó feszültség adatai

c							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-430.1	9	18.3	1.9	4.21	0.13	155.6
a2	-383.1	7.7	14.7	1.6	4.18	0.15	155.63
a3	-338.3	12.3	11	2.5	3.97	0.11	155.66

b1	-301.4	11.5	31.7	2.4	4.06	0.13	155.69
b2	-373.6	6.4	12.4	1.3	4.23	0.13	155.56
b3	-374.2	12.8	9.6	2.6	4.19	0.14	155.58
c1	-310.9	16.1	9.6	3.3	3.94	0.09	155.68
c2	-317.8	15.8	4.9	3.2	4.11	0.12	155.59
c3	-423.4	5.9	11.5	1.2	4.24	0.15	155.56
d1	-387.6	9.5	12.3	1.9	4.21	0.14	155.58
d2	-310.3	9.9	9.6	2	3.93	0.13	155.72
d3	-322.8	6.8	12.2	1.4	3.97	0.15	155.65
6./ törött							
hely	σ (MPa): 0.0°	(±)	τ (MPa): 0.0°	(±)	FWHM(°): 0.0°	(±)	2 θ : 0.0°
a1	-354.8	6.3	23	1.3	4.17	0.12	155.66
a2	-330	10.8	6.8	2.2	4.03	0.13	155.66
a3	-302.1	4.6	9	0.9	3.92	0.15	155.76
b1	-312	6.8	23.9	1.4	4.05	0.12	155.69
b2	-300.1	4.5	1.8	0.9	4.15	0.14	155.73
b3	-333	7.1	-0.3	1.5	4.17	0.13	155.62
c1	-255.5	6.7	0	1.4	3.92	0.1	155.74
c2	-274.7	6.7	3	1.4	4	0.15	155.65
c3	-350.8	6.3	-8.8	1.3	4.26	0.16	155.64
d1	-328.2	7.5	-13.8	1.5	4.16	0.15	155.58
d2	-248.4	4.5	-6	0.9	3.93	0.12	155.77
d3	-297.2	5.2	2.5	1.1	3.96	0.16	155.68

38. Melléklet a 7. számú 42CrMo4 fárasztó próbatétel maradó feszültség adatai

7./ sörétezett							
hely	σ (MPa): 0.0°	(±)	τ (MPa): 0.0°	(±)	FWHM(°): 0.0°	(±)	2 θ : 0.0°
a1	-297.20	12.20	18.90	2.50	3.59	0.09	155.76
b1	-250.40	4.70	15.70	1.00	3.74	0.11	155.72
c1	-229.70	9.90	18.30	2.00	3.78	0.10	155.80
d1	-267.50	9.90	16.30	2.00	3.80	0.10	155.75
a2	-187.00	10.40	16.90	2.10	3.51	0.07	155.86
b2	-232.50	8.70	7.70	1.80	3.80	0.08	155.73
c2	-169.90	13.70	8.30	2.80	3.84	0.10	155.83
d2	-266.40	9.90	0.20	2.00	3.75	0.10	155.70
a3	-257.30	4.60	14.20	0.90	3.56	0.11	155.77
b3	-258.10	4.90	11.30	1.00	3.78	0.12	155.72
c3	-210.70	10.10	7.60	2.10	3.98	0.09	155.80
d3	-298.40	9.60	17.70	2.00	3.84	0.11	155.69
7./ 1. fárasztás után							
hely	σ (MPa): 0.0°	(±)	τ (MPa): 0.0°	(±)	FWHM(°): 0.0°	(±)	2 θ : 0.0°
a1	-166.90	3.40	5.50	0.70	3.49	0.11	155.88
b1	-175.90	4.60	6.20	0.90	3.68	0.1	155.8
c1	-191.10	6.30	4.20	1.30	3.68	0.1	155.83

d1	-268.30	10.20	9.00	2.10	3.83	0.12	155.68
a2	-110.80	2.30	2.70	0.50	3.43	0.1	155.91
b2	-176.80	7.10	4.10	1.50	3.73	0.1	155.72
c2	-147.80	9.10	1.50	1.90	3.81	0.09	155.83
d2	-215.50	10.90	1.80	2.20	3.74	0.07	155.7
a3	-167.60	4.40	0.00	0.90	3.47	0.1	155.84
b3	-192.40	6.10	0.20	1.30	3.75	0.13	155.78
c3	-159.90	4.60	-5.50	0.90	3.91	0.09	155.84
d3	-240.10	8.40	-0.10	1.70	3.86	0.12	155.72
7./ 2. fárasztás után							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-144.10	7.20	8.60	1.50	3.51	0.07	155.82
b1	-167.50	3.50	7.50	0.70	3.64	0.1	155.79
c1	-189.30	6.50	-0.50	1.30	3.74	0.07	155.84
d1	-247.70	7.80	10.20	1.60	3.83	0.1	155.72
a2	-129.20	4.60	2.70	0.90	3.42	0.08	155.94
b2	-192.40	3.90	2.00	0.80	3.71	0.09	155.79
c2	-132.90	6.00	-1.30	1.20	3.80	0.09	155.82
d2	-221.40	7.10	2.40	1.50	3.73	0.1	155.73
a3	-182.00	5.60	4.50	1.20	3.46	0.09	155.83
b3	-219.60	8.10	1.20	1.70	3.74	0.09	155.79
c3	-155.80	7.10	-3.90	1.50	3.87	0.09	155.83
d3	-231.60	10.60	4.70	2.20	3.82	0.11	155.74
7./ 3. fárasztás után							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-160.70	9.70	5.20	2.00	3.49	0.1	155.87
b1	-166.90	6.30	6.60	1.30	3.64	0.1	155.8
c1	-156.40	7.50	-0.10	1.50	3.71	0.1	155.91
d1	-236.20	11.70	12.80	2.40	3.82	0.13	155.74
a2	-124.50	7.40	1.30	1.50	3.40	0.06	155.93
b2	-159.70	8.50	4.40	1.80	3.72	0.11	155.77
c2	-117.60	7.60	4.00	1.60	3.84	0.13	155.81
d2	-222.50	10.60	4.40	2.20	3.72	0.12	155.69
a3	-176.40	9.40	-0.30	1.90	3.44	0.1	155.89
b3	-165.40	13.00	-2.40	2.70	3.70	0.11	155.81
c3	-139.40	7.20	-4.90	1.50	3.87	0.09	155.84
d3	-226.10	8.20	-4.70	1.70	3.79	0.09	155.78
7./ 4. fárasztás után							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-153.70	3.00	2.80	0.60	3.50	0.09	155.89
b1	-143.30	4.90	4.60	1.00	3.64	0.12	155.85
c1	-141.90	7.20	0.70	1.50	3.70	0.09	155.9
d1	-240.60	4.40	12.00	0.90	3.79	0.07	155.77
a2	-112.30	7.10	2.60	1.50	3.40	0.11	155.96

b2	-182.10	9.40	2.30	1.90	3.70	0.13	155.8
c2	-146.50	10.60	1.20	2.20	3.82	0.11	155.83
d2	-228.00	8.60	3.70	1.80	3.74	0.11	155.76
a3	-173.80	6.80	-0.30	1.40	3.46	0.08	155.89
b3	-156.60	7.50	-6.90	1.50	3.70	0.09	155.82
c3	-156.20	13.20	-8.60	2.70	3.87	0.1	155.85
d3	-227.70	5.10	-4.20	1.10	3.83	0.1	155.85
7./ 5. fárasztás után							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-160.50	6.30	2.40	1.30	3.50	0.07	155.88
b1	-150.00	5.30	3.00	1.10	3.66	0.1	155.83
c1	-173.50	4.80	-0.80	1.00	3.71	0.09	155.84
d1	-248.50	7.70	14.00	1.60	3.78	0.07	155.76
a2	-105.40	13.40	2.00	2.80	3.46	0.1	155.91
b2	-165.30	1.30	1.60	0.30	3.71	0.09	155.81
c2	-125.90	5.60	-0.40	1.10	3.82	0.09	155.83
d2	-209.70	11.20	7.00	2.30	3.73	0.09	155.72
a3	-167.40	5.90	-2.70	1.20	3.46	0.12	155.88
b3	-155.00	6.80	-3.90	1.40	3.67	0.09	155.87
c3	-157.40	7.50	-3.40	1.50	3.88	0.1	155.86
d3	-203.80	10.00	-1.80	2.00	3.82	0.09	155.77
7./ 6. fárasztás után							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-155.40	10.10	4.20	2.10	3.49	0.12	155.89
b1	-136.60	5.30	2.90	1.10	3.66	0.09	155.83
c1	-159.30	9.80	1.60	2.00	3.75	0.12	155.88
d1	-241.90	10.80	12.80	2.20	3.81	0.12	155.74
a2	-107.60	9.50	0.20	2.00	3.43	0.07	155.96
b2	-147.10	4.60	4.30	0.90	3.70	0.1	155.85
c2	-125.20	9.80	2.60	2.00	3.81	0.1	155.85
d2	-225.00	8.10	5.10	1.70	3.72	0.11	155.77
a3	-153.70	8.00	-7.40	1.70	3.49	0.07	155.89
b3	-136.10	3.90	-5.80	0.80	3.67	0.1	155.86
c3	-133.10	4.10	-5.30	0.80	3.85	0.08	155.88
d3	-193.80	5.00	-0.10	1.00	3.82	0.1	155.73
7./ 7. fárasztás után, törött							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-143.60	7.10	5.40	1.50	3.47	0.08	155.93
b1	-137.00	7.20	6.60	1.50	3.61	0.09	155.85
c1	-165.90	8.50	4.10	1.70	3.70	0.11	155.88
d1	-225.60	9.30	19.00	1.90	3.76	0.08	155.76
a2	-120.20	7.80	2.20	1.60	3.42	0.07	155.92
b2	-167.90	6.50	4.70	1.30	3.69	0.11	155.84
c2	-120.10	9.60	3.60	2.00	3.81	0.1	155.85

d2	-224.20	7.30	9.90	1.50	3.76	0.09	155.74
a3	-163.40	5.90	3.10	1.20	3.46	0.11	155.88
b3	-172.80	5.80	-0.10	1.20	3.71	0.11	155.8
c3	-142.90	6.10	1.10	1.20	3.87	0.12	155.87
d3	-216.40	9.60	3.60	2.00	3.79	0.1	155.76

39. Melléklet a 8. számú 42CrMo4 fárasztó próbatétel maradó feszültség adatai

8./ sörétezett							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-419.70	8.30	27.40	1.70	4.24	0.14	155.61
b1	-471.40	36.80	-14.20	17.20	4.21	0.19	155.58
c1	-377.50	7.30	15.40	1.50	3.95	0.11	155.66
d1	-368.80	14.90	15.30	3.10	4.07	0.14	155.60
a2	-380.90	11.40	18.30	2.30	4.19	0.12	155.65
b2	-410.70	8.20	6.90	1.70	4.21	0.12	155.57
c2	-332.70	11.20	1.40	2.30	3.92	0.12	155.69
d2	-363.10	9.00	8.70	1.90	3.99	0.15	155.62
a3	-403.00	5.00	-2.30	1.00	4.32	0.16	155.62
b3	-450.60	8.50	11.90	1.70	4.22	0.15	155.55
c3	-308.30	8.10	0.40	1.70	3.95	0.11	155.69
d3	-414.10	2.10	3.80	0.40	4.04	0.14	155.61
8./ 1. fárasztás után							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-367.70	8.40	9.60	1.70	4.19	0.14	155.61
b1	-361.60	4.70	-1.70	1.00	4.17	0.12	155.64
c1	-306.30	6.00	3.10	1.20	3.92	0.13	155.71
d1	-330.90	2.50	8.90	0.50	4.03	0.12	155.65
a2	-340.60	3.80	3.70	0.80	4.19	0.11	155.64
b2	-374.70	2.70	-6.90	0.60	4.15	0.14	155.59
c2	-284.70	8.10	-10.60	1.70	3.89	0.13	155.73
d2	-339.50	2.60	-2.50	0.50	3.94	0.16	155.65
a3	-345.40	8.10	-7.30	1.70	4.28	0.11	155.65
b3	-423.00	4.70	-6.00	1.00	4.17	0.14	155.59
c3	-295.20	9.90	-12.30	2.00	3.95	0.11	155.77
d3	-368.20	9.70	-6.40	2.00	4.03	0.16	155.64
8./ 2. fárasztás után							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-339.20	7.30	15.20	1.50	4.19	0.11	155.68
b1	-390.00	11.60	-2.10	2.40	4.13	0.14	155.64
c1	-299.40	6.70	3.00	1.40	3.84	0.13	155.71
d1	-330.10	8.00	7.40	1.70	4.02	0.14	155.7
a2	-355.10	6.70	8.30	1.40	4.17	0.12	155.63
b2	-370.20	4.50	-5.40	0.90	4.16	0.11	155.62
c2	-293.50	10.00	-7.90	2.10	3.87	0.13	155.76

d2	-336.30	4.80	-3.60	1.00	3.93	0.15	155.69
a3	-331.00	10.30	-12.10	2.10	4.25	0.16	155.66
b3	-408.20	12.30	-4.60	2.50	4.23	0.15	155.56
c3	-286.10	6.50	-9.50	1.30	3.93	0.12	155.74
d3	-356.60	15.90	-7.40	3.30	4.03	0.13	155.63
8./ 3. fárasztás után							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-327.90	10.20	14.60	2.10	4.17	0.1	155.61
b1	-366.80	8.60	-5.30	1.80	4.13	0.11	155.66
c1	-293.00	6.20	0.20	1.30	3.85	0.13	155.79
d1	-315.50	13.90	14.50	2.90	3.99	0.15	155.68
a2	-338.80	7.20	4.20	1.50	4.16	0.13	155.69
b2	-371.80	7.00	-6.40	1.40	4.15	0.14	155.61
c2	-273.70	6.70	-7.10	1.40	3.94	0.13	155.77
d2	-332.90	4.20	-4.70	0.90	3.93	0.15	155.69
a3	-339.60	15.00	-12.70	3.10	4.26	0.15	155.63
b3	-391.00	9.70	-8.00	2.00	4.25	0.15	155.55
c3	-255.10	4.40	-13.20	0.90	3.98	0.11	155.78
d3	-368.00	15.40	-16.20	3.20	4.01	0.13	155.66
8./ 4. fárasztás után							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-347.10	8.20	11.50	1.70	4.15	0.13	155.71
b1	-356.90	12.60	-3.00	2.60	4.16	0.12	155.62
c1	-284.30	6.20	-1.60	1.30	3.87	0.15	155.75
d1	-311.10	9.10	8.20	1.90	4.01	0.12	155.73
a2	-347.70	9.90	1.80	2.00	4.15	0.11	155.69
b2	-367.10	9.30	-9.20	1.90	4.13	0.14	155.66
c2	-288.90	10.30	-8.00	2.10	3.89	0.11	155.72
d2	-321.80	10.30	-2.30	2.10	3.94	0.12	155.71
a3	-323.00	12.10	-15.80	2.50	4.23	0.15	155.68
b3	-391.50	12.70	-6.20	2.60	4.21	0.17	155.58
c3	-264.50	6.80	-13.80	1.40	3.95	0.11	155.79
d3	-358.30	14.00	-8.20	2.90	4.02	0.15	155.64
8./ 5. fárasztás után							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-327.30	11.90	12.60	2.50	4.15	0.17	155.68
b1	-370.80	8.90	-3.50	1.80	4.15	0.12	155.69
c1	-248.80	5.80	-0.90	1.20	3.83	0.09	155.80
d1	-318.10	6.60	11.20	1.40	4.01	0.17	155.69
a2	-341.70	1.90	0.70	0.40	4.17	0.12	155.68
b2	-369.00	7.40	-4.70	1.50	4.18	0.11	155.64
c2	-285.40	6.10	-8.60	1.30	3.91	0.09	155.76
d2	-311.50	9.80	-3.70	2.00	3.94	0.13	155.69
a3	-312.60	11.80	-12.50	2.40	4.25	0.14	155.72

b3	-352.80	6.90	-18.00	1.40	4.22	0.17	155.69
c3	-264.60	9.10	-16.10	1.90	4.00	0.11	155.75
d3	-350.70	13.10	-13.30	2.70	3.97	0.13	155.67
8./ 6. fárasztás után							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-323.40	18.00	17.90	3.70	4.13	0.11	155.66
b1	-366.50	9.10	5.30	1.90	4.14	0.14	155.62
c1	-230.60	7.20	-2.70	1.50	3.86	0.12	155.79
d1	-318.30	8.50	12.40	1.70	3.99	0.12	155.7
a2	-323.00	14.40	6.20	3.00	4.16	0.14	155.68
b2	-352.60	10.30	-7.20	2.10	4.17	0.13	155.65
c2	-256.70	5.00	-4.40	1.00	3.90	0.09	155.75
d2	-308.80	9.00	-6.20	1.90	3.96	0.12	155.7
a3	-317.90	6.80	-14.60	1.40	4.25	0.16	155.68
b3	-347.90	11.00	-11.00	2.30	4.29	0.16	155.58
c3	-266.30	9.20	-15.00	1.90	3.94	0.1	155.75
d3	-332.20	10.40	-8.10	2.10	4.03	0.14	155.68
8./ 7. fárasztás után							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-314.30	6.30	16.50	1.30	4.14	0.1	155.71
b1	-353.50	6.80	-3.40	1.40	4.14	0.11	155.66
c1	-247.00	5.90	-0.80	1.20	3.81	0.12	155.71
d1	-306.30	10.20	9.00	2.10	4.02	0.11	155.68
a2	-340.50	8.40	4.50	1.70	4.14	0.14	155.65
b2	-337.10	11.90	-5.40	2.40	4.16	0.13	155.59
c2	-281.00	9.90	-10.00	2.00	3.88	0.12	155.77
d2	-306.90	9.90	-1.20	2.00	3.96	0.12	155.68
a3	-310.00	8.30	-17.20	1.70	4.23	0.13	155.69
b3	-345.00	6.50	-16.20	1.30	4.24	0.13	155.62
c3	-248.60	7.80	-12.80	1.60	3.97	0.1	155.77
d3	-330.30	11.90	-10.80	2.50	3.93	0.16	155.67
8./ 8. fárasztás után, törött							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-334.00	9.10	17.70	1.90	4.13	0.14	155.72
b1	-375.90	6.40	6.60	1.30	4.09	0.12	155.64
c1	-253.90	5.50	1.40	1.10	3.84	0.13	155.81
d1	-319.30	8.70	17.50	1.80	3.99	0.15	155.68
a2	-337.20	4.30	5.90	0.90	4.10	0.13	155.74
b2	-367.50	7.40	-5.50	1.50	4.10	0.15	155.66
c2	-300.90	9.20	-7.10	1.90	3.88	0.1	155.75
d2	-327.30	9.40	2.10	1.90	3.93	0.13	155.72
a3	-128.10	4.80	-6.20	1.00	3.99	0.15	155.98
b3	-296.00	12.40	-9.50	2.50	4.08	0.1	155.71
c3	-196.00	11.50	-8.80	2.40	3.91	0.13	155.89

d3	-235.50	7.50	-2.40	1.50	3.86	0.1	155.88
----	---------	------	-------	------	------	-----	--------

40. Melléklet a 9. számú 42CrMo4 fárasztó próbatest maradó feszültség adatai

9./ sörétezett							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-327.70	8.50	20.40	1.80	3.95	0.13	155.64
b1	-243.00	12.10	16.30	2.50	3.86	0.10	155.71
c1	-305.60	9.50	23.60	1.90	3.91	0.11	155.67
d1	-352.90	8.60	23.80	1.80	3.71	0.11	155.67
a2	-256.20	5.80	15.60	1.20	3.94	0.10	155.69
b2	-186.40	11.00	8.90	2.30	3.96	0.10	155.73
c2	-280.40	14.20	14.50	2.90	3.95	0.08	155.63
d2	-309.70	10.00	28.20	2.00	3.72	0.07	155.67
a3	-313.30	8.00	13.80	1.60	3.89	0.12	155.68
b3	-210.90	9.70	17.90	2.00	4.04	0.12	155.74
c3	-265.30	8.80	20.70	1.80	3.97	0.12	155.75
d3	-333.70	6.30	15.30	1.30	3.70	0.07	155.68
9./ 1. fárasztás után							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-290.00	8.60	9.00	1.80	3.95	0.12	155.71
b1	-191.00	4.20	3.70	0.90	3.87	0.09	155.8
c1	-276.60	6.20	7.00	1.30	3.87	0.12	155.68
d1	-266.50	9.90	4.60	2.00	3.66	0.09	155.78
a2	-245.10	4.00	2.50	0.80	3.93	0.12	155.69
b2	-191.20	7.90	1.50	1.60	3.96	0.11	155.81
c2	-252.20	4.30	5.30	0.90	3.94	0.11	155.67
d2	-241.00	9.70	2.70	2.00	3.70	0.09	155.7
a3	-256.50	9.80	-0.70	2.00	3.88	0.09	155.7
b3	-191.20	7.10	-0.10	1.50	3.94	0.1	155.76
c3	-239.70	6.10	4.00	1.20	3.94	0.1	155.71
d3	-293.60	11.70	-1.30	2.40	3.73	0.11	155.69
9./ 2. fárasztás után							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-272.60	5.20	5.10	1.10	3.92	0.11	155.69
b1	-198.60	7.40	4.30	1.50	3.80	0.09	155.78
c1	-246.60	5.80	8.40	1.20	3.86	0.11	155.72
d1	-263.30	6.10	6.60	1.30	3.66	0.1	155.75
a2	-230.40	6.50	0.90	1.30	3.98	0.1	155.67
b2	-187.10	6.00	-1.00	1.20	3.98	0.12	155.78
c2	-246.00	3.40	4.00	0.70	3.91	0.11	155.69
d2	-250.00	6.20	2.80	1.30	3.70	0.1	155.76
a3	-259.20	8.70	-3.10	1.80	3.86	0.1	155.74
b3	-187.30	9.60	3.00	2.00	3.94	0.11	155.73
c3	-221.30	4.20	1.70	0.90	3.92	0.12	155.74

d3	-248.40	18.60	-1.30	3.80	3.69	0.09	155.81
9./ 3. fárasztás után							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-269.30	4.70	8.90	1.00	3.86	0.12	155.68
b1	-206.10	9.60	-0.40	2.00	3.79	0.12	155.77
c1	-228.50	6.40	6.30	1.30	3.87	0.1	155.78
d1	-222.00	4.50	10.60	0.90	3.60	0.12	155.78
a2	-244.00	8.70	2.80	1.80	3.95	0.14	155.69
b2	-173.70	9.10	0.00	1.90	3.95	0.12	155.75
c2	-224.50	5.40	5.40	1.10	3.96	0.12	155.69
d2	-250.70	5.00	4.60	1.00	3.69	0.11	155.75
a3	-249.60	14.50	-4.60	3.00	3.83	0.11	155.75
b3	-179.90	11.40	-1.30	2.30	3.94	0.12	155.77
c3	-253.00	5.10	0.70	1.00	3.93	0.1	155.67
d3	-214.80	11.80	-3.40	2.40	3.62	0.12	155.79
9./ 4. fárasztás után							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-250.90	12.60	6.20	2.60	3.90	0.09	155.71
b1	-193.20	3.20	0.50	0.70	3.85	0.12	155.8
c1	-254.60	3.80	4.30	0.80	3.82	0.1	155.79
d1	-224.80	7.00	9.10	1.40	3.63	0.12	155.77
a2	-251.70	7.80	4.90	1.60	3.91	0.12	155.73
b2	-189.10	12.80	5.70	2.60	3.98	0.12	155.74
c2	-249.80	7.60	5.80	1.60	3.93	0.14	155.72
d2	-229.50	3.50	7.60	0.70	3.69	0.11	155.78
a3	-238.20	11.00	-5.90	2.30	3.84	0.14	155.74
b3	-184.10	5.10	-7.60	1.00	3.94	0.09	155.82
c3	-258.80	7.30	-3.50	1.50	3.93	0.09	155.74
d3	-232.60	13.70	-3.80	2.80	3.67	0.11	155.85
9./ 5. fárasztás után							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-238.30	12.00	7.40	2.50	3.86	0.16	155.7
b1	-193.70	9.60	3.30	2.00	3.76	0.11	155.79
c1	-238.40	6.90	3.80	1.40	3.87	0.1	155.78
d1	-257.70	6.00	0.20	1.20	3.66	0.1	155.75
a2	-232.10	6.20	-2.20	1.30	3.94	0.12	155.74
b2	-182.70	7.30	1.50	1.50	3.94	0.11	155.78
c2	-242.30	6.80	5.70	1.40	3.95	0.13	155.69
d2	-231.40	12.00	-1.10	2.50	3.69	0.11	155.74
a3	-242.60	4.60	-1.20	0.90	3.88	0.08	155.77
b3	-171.20	12.90	-2.50	2.60	3.96	0.1	155.78
c3	-244.70	10.50	-0.60	2.20	3.95	0.07	155.74
d3	-246.30	13.10	-2.80	2.70	3.68	0.08	155.82
9./ 6. fárasztás után							

hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-218.60	9.30	12.20	1.90	3.78	0.13	155.72
b1	-190.00	7.60	2.40	1.60	3.78	0.08	155.76
c1	-219.10	6.30	6.50	1.30	3.87	0.1	155.78
d1	-221.30	11.10	9.40	2.30	3.64	0.11	155.81
a2	-224.30	9.60	2.10	2.00	3.95	0.14	155.72
b2	-164.10	7.40	-0.20	1.50	3.99	0.11	155.75
c2	-224.00	7.90	2.60	1.60	3.93	0.09	155.76
d2	-230.10	12.50	2.80	2.60	3.68	0.1	155.78
a3	-234.60	10.90	-6.20	2.20	3.83	0.1	155.81
b3	-173.30	12.20	-6.20	2.50	3.91	0.1	155.78
c3	-239.10	9.00	-0.90	1.80	3.94	0.11	155.77
d3	-199.70	8.30	-3.20	1.70	3.60	0.11	155.84
9./ 7. fárasztás után							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-211.30	5.60	10.10	1.10	3.80	0.13	155.75
b1	-190.70	9.10	1.50	1.90	3.76	0.09	155.77
c1	-217.80	6.80	9.20	1.40	3.87	0.11	155.7
d1	-219.40	8.20	7.50	1.70	3.63	0.09	155.84
a2	-219.60	8.80	-0.10	1.80	3.97	0.12	155.69
b2	-188.70	6.10	-1.20	1.30	3.96	0.11	155.81
c2	-237.00	2.50	4.60	0.50	3.94	0.1	155.71
d2	-214.60	9.70	2.90	2.00	3.70	0.09	155.78
a3	-241.70	11.00	-2.20	2.30	3.84	0.13	155.73
b3	-156.70	9.70	-9.30	2.00	3.91	0.08	155.78
c3	-248.90	10.60	0.80	2.20	3.93	0.12	155.69
d3	-203.10	6.70	-2.40	1.40	3.61	0.13	155.82
9./ 8. fárasztás után							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-212.20	5.40	15.60	1.10	3.80	0.14	155.78
b1	-197.50	13.30	5.40	2.70	3.83	0.1	155.76
c1	-241.60	10.10	11.90	2.10	3.85	0.11	155.76
d1	-216.00	8.50	11.80	1.70	3.60	0.11	155.84
a2	-228.50	7.50	2.40	1.50	3.96	0.11	155.71
b2	-174.20	6.60	4.00	1.40	3.95	0.09	155.74
c2	-239.10	4.30	7.30	0.90	3.94	0.14	155.69
d2	-224.30	6.00	10.60	1.20	3.69	0.1	155.77
a3	-239.10	8.70	0.70	1.80	3.85	0.11	155.71
b3	-163.70	14.40	4.70	3.00	3.96	0.11	155.79
c3	-222.50	4.30	4.40	0.90	3.94	0.1	155.73
d3	-248.40	10.40	0.20	2.10	3.69	0.09	155.81
9./ 9. fárasztás után, törött							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-245.00	8.90	7.10	1.80	3.85	0.11	155.77

b1	-198.70	0.60	1.40	0.10	3.80	0.12	155.83
c1	-225.60	4.90	8.00	1.00	3.84	0.11	155.77
d1	-247.30	6.00	6.00	1.20	3.64	0.11	155.83
a2	-223.60	12.10	7.30	2.50	3.94	0.13	155.73
b2	-176.10	5.70	-0.80	1.20	3.95	0.1	155.8
c2	-226.50	4.70	6.90	1.00	3.91	0.1	155.74
d2	-213.30	9.40	6.00	1.90	3.68	0.12	155.79
a3	-244.90	8.20	-3.30	1.70	3.85	0.12	155.77
b3	-163.10	13.20	-2.90	2.70	3.91	0.12	155.8
c3	-238.70	7.90	1.00	1.60	3.92	0.08	155.75
d3	-207.50	7.30	-5.00	1.50	3.57	0.09	155.89

41. Melléklet a 10. számú 42CrMo4 fázisátó próbatest maradó feszültség adatai

10./ sörétezett							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-428.80	10.60	7.70	2.20	4.25	0.15	151.49
b1	-521.90	6.40	6.30	1.30	4.12	0.18	151.53
c1	-372.90	8.70	3.40	1.80	4.30	0.14	151.55
d1	-279.40	6.10	1.60	1.30	4.46	0.09	151.64
a2	-400.60	9.70	0.90	2.00	4.32	0.15	151.56
b2	-528.00	10.20	-0.90	2.10	4.16	0.11	151.53
c2	-374.10	9.60	4.00	2.00	4.35	0.15	151.59
d2	-354.50	5.30	-1.80	1.10	4.45	0.11	151.54
a3	-383.10	2.60	10.90	0.50	4.30	0.14	151.57
b3	-504.30	5.30	6.60	1.10	4.13	0.15	151.50
c3	-388.10	9.00	9.20	1.90	4.33	0.17	151.55
d3	-342.30	5.50	-3.90	1.10	4.47	0.17	151.58
10./ 1. fázisátás után							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-297.90	6.10	8.30	1.30	4.28	0.12	155.73
b1	-360.40	5.60	12.80	1.20	4.10	0.18	155.69
c1	-220.60	7.20	8.50	1.50	4.34	0.13	155.78
d1	-230.90	7.30	2.30	1.50	4.49	0.12	155.75
a2	-307.70	2.50	5.20	0.50	4.36	0.16	155.73
b2	-356.50	5.80	3.00	1.20	4.17	0.14	155.71
c2	-286.40	12.80	9.10	2.60	4.37	0.15	155.7
d2	-276.40	4.40	2.10	0.90	4.53	0.18	155.67
a3	-274.20	9.30	12.50	1.90	4.37	0.15	155.73
b3	-340.50	9.90	8.80	2.00	4.19	0.15	155.66
c3	-284.10	9.70	10.20	2.00	4.35	0.15	155.76
d3	-245.90	5.10	-3.40	1.00	4.52	0.14	155.74
10./ 2. fázisátás után							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-297.20	1.80	14.80	0.40	4.22	0.16	155.74

b1	-299.80	7.50	15.40	1.50	4.10	0.15	155.78
c1	-257.10	5.30	10.60	1.10	4.31	0.16	155.8
d1	-237.60	8.00	6.90	1.60	4.47	0.14	155.73
a2	-314.80	8.60	9.10	1.80	4.30	0.16	155.72
b2	-383.80	9.30	-3.40	1.90	4.17	0.13	155.83
c2	-308.20	7.30	3.80	1.50	4.32	0.15	155.84
d2	-311.30	7.20	1.60	1.50	4.48	0.17	155.77
a3	-313.10	8.00	8.20	1.60	4.30	0.12	155.8
b3	-362.80	6.80	1.50	1.40	4.12	0.16	155.78
c3	-291.40	4.60	6.40	0.90	4.30	0.16	155.82
d3	-273.00	5.60	-7.50	1.20	4.51	0.15	155.81
10./ 3. fárasztás után							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-279.40	4.20	4.30	0.90	4.22	0.18	155.78
b1	-337.00	12.10	14.60	2.50	4.04	0.18	155.77
c1	-244.10	6.10	4.20	1.30	4.28	0.15	155.78
d1	-230.50	10.40	-0.60	2.10	4.44	0.13	155.75
a2	-319.00	13.90	1.80	2.80	4.28	0.15	155.74
b2	-363.90	7.50	-3.50	1.50	4.11	0.16	155.73
c2	-304.60	9.30	4.90	1.90	4.32	0.15	155.75
d2	-291.80	8.50	-2.70	1.70	4.45	0.17	155.69
a3	-297.90	15.90	5.30	3.30	4.26	0.1	155.76
b3	-346.50	5.80	6.50	1.20	4.10	0.15	155.69
c3	-285.80	7.80	5.50	1.60	4.31	0.16	155.72
d3	-289.20	12.70	-4.20	2.60	4.49	0.15	155.68
10./ 4. fárasztás után							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-299.80	3.20	8.00	0.70	4.20	0.13	155.8
b1	-311.60	6.50	6.30	1.30	4.03	0.14	155.83
c1	-238.10	9.00	1.90	1.90	4.28	0.12	155.82
d1	-266.80	11.20	-1.40	2.30	4.42	0.13	155.77
a2	-330.40	8.60	-0.30	1.80	4.22	0.12	155.79
b2	-372.20	8.00	-3.70	1.60	4.11	0.1	155.76
c2	-297.70	9.80	4.20	2.00	4.30	0.17	155.77
d2	-312.20	13.40	-1.90	2.80	4.45	0.13	155.74
a3	-292.10	8.40	7.80	1.70	4.26	0.15	155.75
b3	-354.30	5.50	4.80	1.10	4.12	0.1	155.69
c3	-300.50	8.30	0.70	1.70	4.32	0.16	155.76
d3	-269.60	13.50	-9.10	2.80	4.45	0.15	155.83
10./ 5. fárasztás után							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-242.50	13.60	6.70	2.80	4.22	0.13	155.87
b1	-285.10	6.80	4.50	1.40	4.02	0.16	155.88
c1	-188.40	8.60	2.00	1.80	4.24	0.13	155.91

d1	-219.00	7.40	-2.00	1.50	4.38	0.12	155.87
a2	-281.90	11.00	2.70	2.30	4.25	0.14	155.76
b2	-326.30	9.50	-5.20	1.90	4.13	0.12	155.76
c2	-261.20	13.50	4.50	2.80	4.29	0.15	155.82
d2	-274.40	10.70	-4.30	2.20	4.42	0.15	155.72
a3	-271.10	11.90	3.90	2.40	4.28	0.14	155.79
b3	-333.50	4.90	2.30	1.00	4.11	0.14	155.78
c3	-266.50	10.00	6.40	2.00	4.32	0.18	155.78
d3	-276.50	8.50	-7.00	1.70	4.48	0.15	155.74
10./ 6. fárasztás után, törött							
hely	σ (MPa): 0.0°	(±)	τ (MPa): 0.0°	(±)	FWHM(°): 0.0°	(±)	2 θ : 0.0°
a1	a törés kerületén nincs adat						
b1							
c1							
d1							
a2	-284.20	4.40	8.30	0.90	4.26	0.14	155.82
b2	-332.20	6.60	3.00	1.40	4.11	0.14	155.84
c2	-278.30	11.40	7.70	2.30	4.31	0.16	155.77
d2	-287.20	11.30	3.90	2.30	4.44	0.16	155.74
a3	-304.90	10.10	13.00	2.10	4.30	0.15	155.73
b3	-323.90	6.10	8.50	1.20	4.09	0.15	155.79
c3	-274.80	5.10	8.20	1.10	4.27	0.17	155.76
d3	-246.60	4.70	-2.10	1.00	4.48	0.16	155.78

42. Melléklet az 11. számú 42CrMo4 fárasztó próbatétel maradó feszültség adatai

11./ sörétezett							
hely	σ (MPa): 0.0°	(±)	τ (MPa): 0.0°	(±)	FWHM(°): 0.0°	(±)	2 θ : 0.0°
a1	-382.00	6.20	2.20	1.30	4.45	0.14	151.55
b1	-378.60	9.50	10.80	1.90	4.36	0.11	151.56
c1	-431.70	2.20	17.00	0.40	4.24	0.16	151.53
d1	-407.80	11.30	-0.80	2.30	4.31	0.15	151.53
a2	-331.10	11.80	-2.60	2.40	4.41	0.12	155.73
b2	-307.70	3.30	7.60	0.70	4.36	0.13	155.71
c2	-381.80	4.20	11.00	0.90	4.21	0.12	155.72
d2	-335.40	7.70	6.70	1.60	4.21	0.13	155.70
a3	-351.10	10.90	-6.70	2.20	4.47	0.12	155.67
b3	-316.20	5.40	7.40	1.10	4.36	0.17	155.67
c3	-376.60	6.80	7.70	1.40	4.24	0.15	155.71
d3	-314.40	7.90	9.10	1.60	4.28	0.13	155.72
11./ 1. fárasztás után							
hely	σ (MPa): 0.0°	(±)	τ (MPa): 0.0°	(±)	FWHM(°): 0.0°	(±)	2 θ : 0.0°
a1	-266.20	7.60	2.00	1.60	4.52	0.16	155.76
b1	-297.10	6.80	13.50	1.40	4.42	0.13	155.68
c1	-255.00	8.40	17.70	1.70	4.26	0.14	155.76

d1	-289.20	13.70	10.90	2.80	4.34	0.16	155.75
a2	-324.40	6.60	6.50	1.40	4.51	0.18	155.67
b2	-303.20	6.30	13.30	1.30	4.40	0.16	155.73
c2	-335.80	8.20	21.20	1.70	4.27	0.14	155.67
d2	-308.40	12.20	7.80	2.50	4.29	0.16	155.75
a3	-273.20	7.10	-3.10	1.50	4.54	0.15	155.76
b3	-289.00	7.30	13.40	1.50	4.41	0.12	155.67
c3	-247.50	4.50	18.70	0.90	4.39	0.15	155.77
d3	-271.10	8.50	14.40	1.70	4.43	0.16	155.74
11./ 2. fárasztás után							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-309.00	7.40	-2.90	1.50	4.47	0.17	155.8
b1	-311.90	4.40	11.90	0.90	4.25	0.15	155.8
c1	-325.50	8.20	16.90	1.70	4.24	0.12	155.82
d1	-294.80	4.50	16.60	0.90	4.29	0.18	155.84
a2	-351.50	10.80	-2.60	2.20	4.46	0.13	155.79
b2	-310.70	6.60	8.30	1.40	4.35	0.11	155.81
c2	-338.00	3.60	12.10	0.70	4.25	0.16	155.8
d2	-323.80	5.00	5.20	1.00	4.27	0.17	155.8
a3	-297.30	3.10	-10.40	0.60	4.50	0.14	155.86
b3	-308.70	3.40	10.40	0.70	4.39	0.12	155.81
c3	-279.10	4.60	15.90	1.00	4.32	0.15	155.85
d3	-287.10	4.90	11.70	1.00	4.32	0.09	155.84
11./ 3. fárasztás után							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-286.50	10.50	-4.10	2.20	4.46	0.18	155.72
b1	-286.70	9.00	11.10	1.80	4.28	0.16	155.76
c1	-300.80	10.70	16.90	2.20	4.25	0.15	155.76
d1	-276.70	7.10	9.60	1.50	4.24	0.15	155.76
a2	-334.50	13.70	1.90	2.80	4.41	0.15	155.71
b2	-335.40	8.70	8.90	1.80	4.31	0.15	155.68
c2	-358.70	9.40	11.30	1.90	4.21	0.14	155.69
d2	-315.40	7.90	8.20	1.60	4.24	0.18	155.7
a3	-296.10	13.40	-8.30	2.80	4.50	0.12	155.77
b3	-318.90	5.20	6.80	1.10	4.31	0.13	155.72
c3	-272.20	7.50	11.40	1.50	4.33	0.16	155.75
d3	-296.40	11.40	10.30	2.30	4.29	0.16	155.75
11./ 4. fárasztás után							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-278.10	10.40	-5.40	2.10	4.47	0.16	155.73
b1	-322.50	4.40	12.00	0.90	4.27	0.14	155.78
c1	-270.90	6.10	12.50	1.30	4.18	0.16	155.8
d1	-271.30	8.70	6.50	1.80	4.26	0.14	155.81
a2	-344.60	9.30	1.70	1.90	4.43	0.12	155.64

b2	-315.20	11.20	6.50	2.30	4.35	0.16	155.74
c2	-327.40	6.70	13.40	1.40	4.22	0.13	155.69
d2	-310.60	9.70	5.70	2.00	4.24	0.15	155.79
a3	-306.00	10.50	-7.80	2.10	4.49	0.16	155.77
b3	-296.70	15.90	2.80	3.30	4.37	0.16	155.74
c3	-257.90	5.20	13.10	1.10	4.28	0.15	155.81
d3	-300.00	9.60	9.80	2.00	4.29	0.12	155.82
11./ 5. fárasztás után							
hely	σ (MPa): 0.0°	(±)	τ (MPa): 0.0°	(±)	FWHM(°): 0.0°	(±)	2 θ : 0.0°
a1	-261.30	7.70	-3.30	1.60	4.45	0.15	155.81
b1	-288.30	11.00	10.90	2.30	4.24	0.18	155.8
c1	-269.00	5.70	16.40	1.20	4.16	0.14	155.82
d1	-253.40	6.10	7.00	1.30	4.23	0.1	155.84
a2	-327.80	12.50	-1.10	2.60	4.42	0.14	155.73
b2	-290.70	15.20	8.20	3.10	4.30	0.15	155.8
c2	-316.40	8.30	10.10	1.70	4.20	0.15	155.81
d2	-291.40	17.60	4.60	3.60	4.24	0.17	155.77
a3	-270.20	4.50	-9.10	0.90	4.52	0.13	155.78
b3	-307.60	10.00	3.60	2.10	4.36	0.17	155.73
c3	-259.50	3.80	10.90	0.80	4.33	0.12	155.82
d3	-291.20	10.00	10.70	2.10	4.28	0.17	155.81
11./ 6. fárasztás után, törött							
hely	σ (MPa): 0.0°	(±)	τ (MPa): 0.0°	(±)	FWHM(°): 0.0°	(±)	2 θ : 0.0°
a1	-254.20	10.30	8.90	2.10	4.43	0.15	155.76
b1	-273.70	6.40	-8.20	1.30	4.23	0.15	155.8
c1	-274.10	8.30	-8.40	1.70	4.18	0.15	155.83
d1	-245.90	7.60	1.40	1.60	4.25	0.13	155.85
a2	a törés kerületén nincs adat						
b2							
c2							
d2							
a3	-268.30	9.00	-6.90	1.90	4.49	0.16	155.83
b3	-311.00	11.00	11.40	2.30	4.39	0.14	155.74
c3	-276.60	8.30	15.40	1.70	4.29	0.17	155.76
d3	-296.00	8.80	16.30	1.80	4.29	0.17	155.78

43. Melléklet a 12. számú 42CrMo4 fárasztó próbatest maradó feszültség adatai

12./ sörétezett							
hely	σ (MPa): 0.0°	(±)	τ (MPa): 0.0°	(±)	FWHM(°): 0.0°	(±)	2 θ : 0.0°
a1	-378.20	4.20	6.80	0.90	4.30	0.15	155.65
b1	-338.50	10.10	1.70	2.10	4.40	0.18	155.67
c1	-338.50	10.60	-7.50	2.20	4.48	0.17	155.66
d1	-398.50	5.70	4.00	1.20	4.32	0.17	155.69
a2	-346.40	6.30	6.30	1.30	4.14	0.13	155.67

b2	-336.30	4.60	9.30	1.00	4.31	0.15	155.68
c2	-300.70	7.10	-3.40	1.50	4.47	0.15	155.71
d2	-339.80	8.00	10.50	1.60	4.32	0.14	155.71
a3	-337.20	8.00	3.20	1.70	4.28	0.15	155.68
b3	-332.60	2.80	1.50	0.60	4.30	0.12	155.70
c3	-368.80	4.20	-8.60	0.90	4.51	0.17	155.69
d3	-364.80	5.60	4.30	1.20	4.29	0.14	155.65
12./ 1. fárasztás után							
hely	σ (MPa): 0.0°	(±)	τ (MPa): 0.0°	(±)	FWHM(°): 0.0°	(±)	2 θ : 0.0°
a1	-345.80	4.90	11.90	1.00	4.29	0.18	155.71
b1	-334.70	2.20	5.10	0.50	4.42	0.16	155.62
c1	-299.40	12.60	5.30	2.60	4.45	0.1	155.71
d1	-302.20	10.60	9.70	2.20	4.36	0.16	155.7
a2	-332.90	10.30	10.80	2.10	4.21	0.17	155.65
b2	-357.70	5.40	13.20	1.10	4.31	0.16	155.66
c2	-294.30	10.60	-4.10	2.20	4.54	0.17	155.76
d2	-331.70	6.10	15.20	1.30	4.36	0.23	155.66
a3	-281.10	10.90	12.50	2.20	4.33	0.14	155.71
b3	-314.20	14.10	10.80	2.90	4.43	0.14	155.68
c3	-294.00	6.40	-4.00	1.30	4.55	0.19	155.72
d3	-342.40	12.50	11.00	2.60	4.43	0.16	155.7
12./ 2. fárasztás után							
hely	σ (MPa): 0.0°	(±)	τ (MPa): 0.0°	(±)	FWHM(°): 0.0°	(±)	2 θ : 0.0°
a1	-337.60	6.60	9.60	1.30	4.25	0.16	155.79
b1	-298.10	8.40	3.20	1.70	4.40	0.18	155.72
c1	-289.00	11.30	0.60	2.30	4.46	0.14	155.73
d1	-268.70	8.40	3.50	1.70	4.34	0.2	155.78
a2	-327.10	10.60	4.70	2.20	4.19	0.16	155.68
b2	-336.00	10.20	9.50	2.10	4.32	0.15	155.72
c2	-310.90	12.30	-10.70	2.50	4.55	0.15	155.73
d2	-322.20	5.90	11.70	1.20	4.34	0.15	155.68
a3	-269.70	8.70	5.00	1.80	4.29	0.16	155.74
b3	-317.80	7.10	6.20	1.50	4.42	0.13	155.74
c3	-290.40	13.30	-6.50	2.70	4.54	0.17	155.75
d3	-309.90	19.40	4.20	4.00	4.36	0.15	155.73
12./ 3. fárasztás után							
hely	σ (MPa): 0.0°	(±)	τ (MPa): 0.0°	(±)	FWHM(°): 0.0°	(±)	2 θ : 0.0°
a1	-326.90	12.30	8.10	2.50	4.23	0.16	155.77
b1	-354.80	12.10	6.10	2.50	4.38	0.19	155.63
c1	-285.50	13.00	0.60	2.70	4.38	0.14	155.76
d1	-292.10	9.10	6.00	1.90	4.29	0.16	155.75
a2	-362.80	11.50	4.30	2.40	4.16	0.16	155.65
b2	-352.90	9.90	7.50	2.00	4.28	0.15	155.7
c2	-318.90	14.70	-8.20	3.00	4.46	0.13	155.73

d2	-357.30	10.70	13.30	2.20	4.29	0.16	155.68
a3	-293.40	6.70	7.90	1.40	4.22	0.13	155.76
b3	-332.90	12.50	7.30	2.60	4.40	0.12	155.69
c3	-323.60	16.70	-10.40	3.40	4.51	0.15	155.73
d3	-338.50	12.80	4.80	2.60	4.37	0.14	155.7
12./ 4. fárasztás után							
hely	σ (MPa): 0.0°	(±)	τ (MPa): 0.0°	(±)	FWHM(°): 0.0°	(±)	2 θ : 0.0°
a1	-328.60	6.80	11.00	1.40	4.23	0.15	155.73
b1	-320.40	13.00	6.50	2.70	4.33	0.15	155.72
c1	-279.90	12.40	-0.40	2.50	4.37	0.18	155.75
d1	-286.50	1.30	3.50	0.30	4.32	0.19	155.81
a2	-331.30	8.70	6.40	1.80	4.12	0.14	155.7
b2	-356.00	13.80	10.00	2.80	4.26	0.18	155.7
c2	-298.70	12.70	-6.90	2.60	4.51	0.14	155.68
d2	-342.40	8.10	10.70	1.70	4.32	0.15	155.71
a3	-286.20	12.70	4.00	2.60	4.23	0.16	155.73
b3	-319.50	12.30	5.40	2.50	4.42	0.14	155.75
c3	-321.80	11.00	-12.40	2.30	4.51	0.15	155.72
d3	-334.90	15.50	5.10	3.20	4.33	0.17	155.78
12./ 5. fárasztás után, törött							
hely	σ (MPa): 0.0°	(±)	τ (MPa): 0.0°	(±)	FWHM(°): 0.0°	(±)	2 θ : 0.0°
a1	a törés kerületén nincs adat						
b1							
c1							
d1							
a2	-343.10	5.80	4.80	1.20	4.13	0.17	155.75
b2	-345.90	8.40	11.30	1.70	4.32	0.16	155.67
c2	-302.90	12.50	-3.10	2.60	4.51	0.16	155.7
d2	-320.30	5.60	18.00	1.10	4.30	0.14	155.7
a3	-299.30	9.60	12.10	2.00	4.23	0.18	155.72
b3	-302.70	8.90	10.80	1.80	4.42	0.11	155.74
c3	-325.50	9.20	-4.30	1.90	4.51	0.18	155.66
d3	-339.90	4.20	15.70	0.90	4.36	0.13	155.74

44. Melléklet a 13. számú 42CrMo4 fárasztó próbatest maradó feszültség adatai

13./ sörétezett							
hely	σ (MPa): 0.0°	(±)	τ (MPa): 0.0°	(±)	FWHM(°): 0.0°	(±)	2 θ : 0.0°
a1	-341.80	2.10	5.30	0.40	4.17	0.15	155.69
b1	-315.80	6.60	1.60	1.40	4.47	0.14	155.75
c1	-280.80	5.90	1.20	1.20	4.28	0.14	155.76
d1	-306.50	7.90	14.00	1.60	4.28	0.15	155.72
a2	-367.90	12.20	11.00	2.50	4.18	0.13	155.66
b2	-334.50	7.40	-2.00	1.50	4.41	0.15	155.71
c2	-315.50	6.40	-1.50	1.30	4.33	0.13	155.73

d2	-353.40	6.00	13.10	1.20	4.22	0.17	155.71
a3	-329.80	3.80	0.60	0.80	4.30	0.12	155.78
b3	-359.40	10.10	-1.30	2.10	4.43	0.16	155.62
c3	-344.30	4.90	-9.10	1.00	4.36	0.14	155.71
d3	-330.90	3.40	12.90	0.70	4.30	0.12	155.71
13./ 1. fárasztás után							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-321.80	7.40	2.70	1.50	4.29	0.15	155.74
b1	-271.30	12.20	3.50	2.50	4.48	0.17	155.74
c1	-280.60	10.00	6.20	2.10	4.39	0.15	155.73
d1	-265.60	8.50	16.40	1.70	4.29	0.16	155.76
a2	-338.40	9.30	9.30	1.90	4.29	0.18	155.69
b2	-319.30	8.90	4.90	1.80	4.50	0.14	155.68
c2	-307.60	8.50	1.30	1.70	4.40	0.15	155.75
d2	-325.30	5.90	13.60	1.20	4.29	0.15	155.68
a3	-351.50	12.50	6.60	2.60	4.31	0.17	155.69
b3	-308.80	3.70	4.40	0.80	4.47	0.18	155.71
c3	-309.40	17.10	-1.80	3.50	4.45	0.17	155.68
d3	-356.80	9.10	5.00	1.90	4.28	0.2	155.71
13./ 2. fárasztás után							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-320.90	14.40	-2.30	3.00	4.27	0.17	155.78
b1	-282.70	13.00	-0.30	2.70	4.45	0.15	155.71
c1	-264.50	15.60	2.10	3.20	4.35	0.15	155.8
d1	-270.30	11.10	12.20	2.30	4.28	0.17	155.74
a2	-335.70	9.80	5.50	2.00	4.27	0.14	155.71
b2	-306.70	11.60	-0.10	2.40	4.46	0.18	155.72
c2	-295.90	14.50	-0.20	3.00	4.40	0.14	155.74
d2	-310.80	11.50	9.00	2.40	4.27	0.14	155.68
a3	-346.70	12.90	5.30	2.70	4.27	0.13	155.74
b3	-298.30	8.30	4.60	1.70	4.43	0.15	155.75
c3	-311.20	14.80	-5.60	3.00	4.39	0.17	155.74
d3	-283.50	15.20	8.30	3.10	4.30	0.12	155.69
13./ 3. fárasztás után							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-331.30	12.20	-4.80	2.50	4.26	0.16	155.78
b1	-300.80	11.10	-4.90	2.30	4.43	0.15	155.68
c1	-298.90	9.30	-1.40	1.90	4.31	0.12	155.72
d1	-298.60	7.80	13.10	1.60	4.22	0.14	155.73
a2	-356.40	11.40	5.70	2.30	4.22	0.15	155.67
b2	-333.40	4.50	1.80	0.90	4.46	0.15	155.65
c2	-317.40	4.50	0.00	0.90	4.35	0.12	155.69
d2	-336.20	6.10	8.80	1.20	4.24	0.16	155.61
a3	-368.20	13.70	-2.70	2.80	4.24	0.16	155.7

b3	-343.90	15.00	2.00	3.10	4.39	0.15	155.69
c3	-344.00	12.00	-5.60	2.50	4.39	0.18	155.66
d3	-307.30	8.50	10.20	1.70	4.26	0.19	155.67
13./ 4. fárasztás után							
hely	σ (MPa): 0.0°	(±)	τ (MPa): 0.0°	(±)	FWHM(°): 0.0°	(±)	2 θ : 0.0°
a1	-321.10	11.90	-2.30	2.50	4.24	0.16	155.81
b1	-307.90	7.20	-1.60	1.50	4.44	0.16	155.73
c1	-303.80	14.30	0.80	2.90	4.25	0.17	155.74
d1	-279.40	7.00	9.60	1.40	4.22	0.17	155.73
a2	-362.90	11.40	0.30	2.30	4.23	0.16	155.72
b2	-331.50	5.20	-3.60	1.10	4.45	0.15	155.73
c2	-314.80	9.80	-0.80	2.00	4.36	0.15	155.7
d2	-327.30	7.90	6.10	1.60	4.25	0.14	155.69
a3	-357.90	11.10	0.30	2.30	4.21	0.18	155.77
b3	-334.00	9.90	-0.80	2.00	4.40	0.15	155.71
c3	-316.50	8.10	-5.70	1.70	4.37	0.14	155.72
d3	-312.90	9.80	9.30	2.00	4.27	0.18	155.7
13./ 5. fárasztás után							
hely	σ (MPa): 0.0°	(±)	τ (MPa): 0.0°	(±)	FWHM(°): 0.0°	(±)	2 θ : 0.0°
a1	-297.50	10.70	-7.20	2.20	4.18	0.13	155.78
b1	-303.20	12.50	-3.50	2.60	4.42	0.13	155.77
c1	-264.20	7.80	0.50	1.60	4.32	0.18	155.8
d1	-261.90	7.90	6.40	1.60	4.20	0.12	155.79
a2	-355.30	13.30	0.20	2.70	4.21	0.15	155.75
b2	-344.10	10.20	-0.80	2.10	4.47	0.14	155.7
c2	-305.20	14.50	-0.40	3.00	4.38	0.12	155.74
d2	-313.90	14.40	9.60	3.00	4.27	0.17	155.69
a3	-363.00	17.00	-0.90	3.50	4.26	0.17	155.74
b3	-318.20	16.70	-3.80	3.40	4.44	0.15	155.73
c3	-319.80	10.70	-8.90	2.20	4.38	0.18	155.73
d3	-307.80	11.60	8.10	2.40	4.20	0.16	155.7
13./ 6. fárasztás után							
hely	σ (MPa): 0.0°	(±)	τ (MPa): 0.0°	(±)	FWHM(°): 0.0°	(±)	2 θ : 0.0°
a1	-309.2	5.4	2.7	1.1	4.23	0.12	155.73
b1	-327.5	12.5	-0.9	2.6	4.45	0.15	155.65
c1	-275.3	9.8	-2.9	2	4.31	0.12	155.78
d1	-318.9	7.5	11.3	1.5	4.21	0.14	155.77
a2	-362.7	8.6	4.4	1.8	4.25	0.15	155.67
b2	-335.6	3.8	0.7	0.8	4.44	0.13	155.69
c2	-324.3	5.5	0.6	1.1	4.37	0.14	155.74
d2	-330.1	10	9.1	2	4.24	0.16	155.71
a3	-374.3	8.6	0.7	1.8	4.23	0.16	155.69
b3	-330.1	13.9	-1.3	2.8	4.45	0.16	155.69
c3	-327.4	9.2	-9.7	1.9	4.37	0.15	155.7

d3	-325.2	8.5	8.2	1.7	4.25	0.17	155.67
13./ 7. fárasztás után, törött							
hely	σ (MPa): 0.0°	(±)	τ (MPa): 0.0°	(±)	FWHM(°): 0.0°	(±)	2 θ : 0.0°
a1	a törés kerületén nincs adat						
b1							
c1							
d1							
a2	-350.40	12.20	8.40	2.50	4.23	0.16	155.71
b2	-330.20	12.80	1.10	2.60	4.40	0.2	155.73
c2	-305.30	16.00	2.30	3.30	4.37	0.14	155.72
d2	-340.00	14.60	14.60	3.00	4.24	0.18	155.72
a3	-344.60	16.90	8.10	3.50	4.24	0.2	155.73
b3	-324.30	13.60	1.60	2.80	4.42	0.15	155.68
c3	-336.60	10.40	-1.80	2.10	4.35	0.19	155.75
d3	-301.80	10.00	12.20	2.10	4.25	0.17	155.7

45. Melléklet a 14. számú 42CrMo4 bemetszett, fárasztó próbatétel maradó feszültség adatai

14, sörétezett									
A									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	-228.3	-207.9	-229.2	-387	-356.7	-345.2	-320.1	-396.6	-358
20	-267.3	-289.5	-297.3	-268.1	-350.4	-240.6	-277.9	-404.4	-266.1
30	-268.4	-281.5	-217.8	-343.9	-424.9	-403.6	-362.3	-311	-317.1
B									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	-264.7	-270.5	-240.6	-61.3	bemetszés	-109.8	-160.8	-349.9	-277.6
20	-268	-137.8	-201.7	-146.6		-273.1	-240.8	-287.5	-344.7
30	-299	-257.4	-224.7	-199		-249.4	-152.5	-297.9	-335.3
C									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	-251	-302.6	-243.1	-299	-248.7	-244.8	-342.1	-216.7	-253.3
20	-248.1	-248.4	-368.4	-377.1	-278	-360.4	-284.3	-360.5	-363
30	-204.4	-329.2	-374.5	-351.9	-303.3	-249.5	-290.5	-276.3	-309.8
D									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	-451.6	-469	-227.6	-284	bemetszés	-276.8	-268.6	-296.9	-392.4
20	-377.5	-332.4	-326.4	-254.6		-200.9	-439.4	-258.2	-453.1
30	-367.4	-431	-225.5	-175.9		-331.7	-372.1	-337.9	-265.7
14, fárasztott, törött									
A									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	-307.3	-216.9	-144.1	65.5	törés	101.8	-263.6	-364.9	-395.3
20	-345.7	-404.9	-188.4	-19.5		-87.3	-192.3	-427.5	-301.3

30	-336.9	-413.7	-247.8	-175		-209.7	-305.5	-324.4	-326.3
B									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	-309	-295	-169.2	101.8	törés	165.6	-20.9	-239.9	-325.4
20	-303.6	-216.1	-44.8	237.2		177.4	-26.3	-319	-355.4
30	-383.1	-296	-117.1	384.1		221.2	-8.4	-323	-357.8
C									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	-376.5	-351.7	-207.6	-176.7	törés	-105.7	-222.9	-244.9	-287.1
20	-364.5	-243.8	-309.5	-225.6		-186	-217	-346.2	-373
30	-250.4	-361.8	-293.5	-220.2		-63.4	-111.7	-257.1	-260
D									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	-503.4	-432.7	-127.4	-188.4	törés	-197.4	-212.8	-318.9	-368.7
20	-420.9	-380.1	-233.6	-239.8		-160.6	-388.9	-273.6	-440.5
30	-391.6	-437.6	-215.9	-120.3		-267.7	-338.8	-356.3	-333.4

46. Melléklet a 15. számú 42CrMo4 bemetszett, fárasztó próbatétel maradó feszültség adatai

15, sörétezett									
A									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	-377.4	-336.4	-480.6	-276.2	bemetszés	-292.5	-320.6	-419.9	-380.6
20	-398.3	-388.9	-417.4	-293.4		-255	-282	-409.4	-352.5
30	-236.8	-375.5	-322.4	-299.9		-217.1	-310.7	-292.3	-364.3
B									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	-467	-446	-301.6	-355.4	-473.1	-347.5	-351.8	-397.6	-356.6
20	-393.3	-486.9	-268.6	-452.1	-363.8	-447.7	-391.9	-262.3	-358.1
30	-395.8	-403.3	-404.3	-386.7	-309.2	-406.9	-530	-339.7	-365.1
C									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	-182.7	-254.2	-263.2	-348.7	bemetszés	-229.3	-317.9	-245.2	-299.2
20	-368.6	-343.3	-176.1	-216.9		-274.7	-360.7	-334.8	-316.1
30	-366.1	-331.2	-277.6	-330.3		-304.4	-268	-407.4	-307.4
D									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	-347.5	-181.8	-313.4	-369.6	-178.3	-394.7	-194.2	-202	-287.8
20	-309.4	-335.3	-309.2	-243.4	-263	-365	-317.7	-229.2	-291.9
30	-169	-299.5	-303.3	-325.7	-301.8	-354.7	-209.1	-229.8	-276.3
15, fárasztott, törött									
A									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	-403.3	-302.7	-370.7	-116	törés	-169	-190.8	-363	-385.3

20	-389.5	-343.4	-348.7	-117.4		-36.3	-148.9	-343.6	-337.5
30	-241.9	-363	-278.7	-95.3		-82.8	-187.6	-294.1	-336.4
B									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	-441.9	-428.8	-241.9	-36.3	törés	21.4	-166.5	-299.3	-305.2
20	-420.8	-506.5	-271.9	-213.5		-131.6	-294.4	-283.3	-408.8
30	-429.2	-413	-395.8	-271.4		-260	-433.1	-341.5	-387.5
C									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	-237.5	-274.8	-175.6	100.8	törés	154.3	-104.7	-210.4	-286.2
20	-386.6	-308.6	-14.2	65.5		46.3	-31.8	-264	-377.4
30	-354.3	-347.8	-90.5	57.6		75.3	-34.9	-280	-357.4
D									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	-369.9	-237.4	-329.7	-230.1	törés	-198.7	-135.2	-148.6	-325.6
20	-366.4	-411.3	-342.2	-122.1		-119.5	-245.5	-296.5	-274.3
30	-200.5	-301.8	-295.1	-33.9		-63.2	-202.2	-277.9	-318.8

47. Melléklet a 16. számú 42CrMo4 fárasztó próbatest maradó feszültség adatai

16./ sörétezett							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-193.60	9.30	10.30	1.90	3.79	0.12	155.82
b1	-262.80	8.10	14.00	1.70	3.89	0.10	155.74
c1	-203.80	5.30	12.10	1.10	3.54	0.12	155.81
d1	-239.00	13.20	3.90	2.70	3.70	0.10	155.79
a2	-189.20	4.40	-0.90	0.90	3.90	0.08	155.80
b2	-232.30	12.20	11.60	2.50	3.83	0.09	155.70
c2	-191.40	6.50	2.20	1.30	3.50	0.10	155.79
d2	-248.80	8.30	7.80	1.70	3.77	0.11	155.72
a3	-229.70	5.00	4.50	1.00	3.96	0.11	155.78
b3	-263.20	3.20	8.60	0.70	3.83	0.13	155.70
c3	-191.60	4.90	11.40	1.00	3.52	0.09	155.83
d3	-252.40	8.90	10.00	1.80	3.81	0.09	155.73
16./ 1. fárasztás után							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-136.80	4.80	3.10	1.00	3.65	0.09	155.91
b1	-237.10	4.50	5.40	0.90	3.79	0.13	155.76
c1	-164.50	5.80	1.80	1.20	3.42	0.08	155.86
d1	-142.40	6.20	-1.30	1.30	3.58	0.11	155.89
a2	-163.20	6.80	-12.40	1.40	3.79	0.12	155.79
b2	-131.80	10.10	-9.20	2.10	3.92	0.14	155.84
c2	-121.00	4.50	2.70	0.90	3.36	0.11	155.92
d2	-179.00	7.20	0.70	1.50	3.64	0.10	155.76
a3	-216.90	2.90	-3.10	0.60	3.81	0.13	155.78

b3	-228.70	8.80	-6.70	1.80	3.73	0.09	155.77
c3	-92.10	9.10	-0.40	1.90	3.35	0.08	155.94
d3	-190.50	3.60	1.70	0.70	3.67	0.10	155.80
16./ 2. fárasztás után							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-132.60	3.00	4.00	0.60	3.64	0.10	155.93
b1	-196.60	8.50	3.80	1.80	3.77	0.10	155.79
c1	-167.80	6.00	0.40	1.20	3.41	0.09	155.86
d1	-143.80	5.70	1.50	1.20	3.56	0.11	155.86
a2	-147.90	9.00	-12.30	1.90	3.77	0.11	155.84
b2	-128.20	12.60	-7.40	2.60	3.94	0.17	155.87
c2	-134.90	5.90	0.20	1.20	3.34	0.11	155.87
d2	-173.20	12.70	5.00	2.60	3.64	0.09	155.79
a3	-197.10	7.20	-2.60	1.50	3.83	0.11	155.80
b3	-238.30	4.60	-3.10	0.90	3.74	0.12	155.75
c3	-123.30	3.70	-2.30	0.80	3.36	0.09	155.94
d3	-184.60	7.20	-2.10	1.50	3.68	0.10	155.82
16./ 3. fárasztás után, törött							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-75.30	14.20	9.10	2.90	3.59	0.11	156.01
b1	-37.60	5.10	2.00	1.00	3.39	0.13	156.11
c1	-33.10	28.60	24.00	5.90	3.17	0.07	156.09
d1	-119.40	10.50	11.70	2.10	3.47	0.08	155.97
a2	-137.80	11.00	14.00	2.30	3.79	0.12	155.85
b2	-122.40	8.20	14.30	1.70	3.87	0.14	155.95
c2	-123.10	4.30	5.60	0.90	3.28	0.10	155.96
d2	-172.80	5.00	0.10	1.00	3.64	0.09	155.85
a3	-181.20	7.90	12.20	1.60	3.86	0.11	155.84
b3	-185.30	6.10	13.50	1.30	3.62	0.11	155.82
c3	-43.50	1.50	7.70	0.30	3.27	0.10	156.02
d3	-134.80	7.40	2.10	1.50	3.62	0.11	155.84

48. Melléklet az 17. számú 42CrMo4 fárasztó próbatest maradó feszültség adatai

17./ sörétezett							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-212.00	5.70	17.70	1.20	3.71	0.07	155.79
b1	-253.10	7.40	13.60	1.50	3.86	0.13	155.76
c1	-229.60	6.60	10.70	1.40	3.65	0.10	155.78
d1	-256.30	11.90	7.70	2.40	3.83	0.09	155.75
a2	-279.10	8.50	23.00	1.70	3.81	0.13	155.73
b2	-233.40	13.20	22.50	2.70	3.88	0.10	155.74
c2	-258.80	4.50	12.60	0.90	3.67	0.08	155.73
d2	-236.90	5.70	22.00	1.20	3.81	0.11	155.78
a3	-234.70	9.00	11.90	1.90	3.55	0.11	155.75

b3	-286.80	8.00	12.50	1.60	3.98	0.12	155.66
c3	-266.10	5.50	11.00	1.10	3.79	0.10	155.80
d3	-301.70	8.00	18.90	1.60	3.78	0.11	155.72
17./ 1. fárasztás után							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-106.70	6.10	5.30	1.20	3.57	0.09	155.94
b1	-173.60	1.60	7.30	0.30	3.71	0.09	155.85
c1	-200.50	9.00	8.90	1.80	3.58	0.11	155.77
d1	-222.10	5.50	0.00	1.10	3.70	0.11	155.79
a2	-183.20	7.80	6.00	1.60	3.68	0.11	155.90
b2	-214.10	2.80	9.80	0.60	3.76	0.10	155.82
c2	-219.30	7.10	1.70	1.50	3.60	0.13	155.78
d2	-204.20	9.90	4.20	2.00	3.70	0.13	155.81
a3	-178.10	10.30	3.50	2.10	3.43	0.09	155.87
b3	-274.30	9.80	4.30	2.00	3.90	0.11	155.72
c3	-209.00	7.50	1.30	1.50	3.64	0.09	155.80
d3	-182.00	11.80	5.30	2.40	3.63	0.09	155.85
17./ 2. fárasztás után							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-127.70	6.00	2.50	1.20	3.57	0.12	155.92
b1	-172.10	6.50	6.40	1.30	3.75	0.12	155.84
c1	-182.50	11.10	5.60	2.30	3.55	0.11	155.85
d1	-221.80	6.10	5.40	1.20	3.71	0.09	155.75
a2	-185.30	4.30	5.40	0.90	3.68	0.09	155.87
b2	-197.90	4.20	7.90	0.90	3.79	0.10	155.87
c2	-226.60	5.70	4.20	1.20	3.58	0.10	155.84
d2	-208.80	7.00	7.10	1.40	3.68	0.11	155.85
a3	-140.50	12.00	1.60	2.50	3.38	0.12	155.92
b3	-250.60	8.90	5.70	1.80	3.86	0.10	155.74
c3	-224.30	3.40	0.90	0.70	3.65	0.11	155.76
d3	-199.60	5.80	14.20	1.20	3.68	0.09	155.78
17./ 3. fárasztás után, törött							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-104.60	9.30	14.60	1.90	3.51	0.11	155.96
b1	-135.90	2.90	6.20	0.60	3.60	0.12	155.87
c1	-151.40	9.40	15.10	1.90	3.52	0.13	155.85
d1	-137.40	6.90	11.70	1.40	3.58	0.12	155.89
a2	-147.20	7.80	5.20	1.60	3.61	0.12	155.95
b2	-186.70	5.70	6.40	1.20	3.74	0.11	155.88
c2	-202.80	5.00	3.60	1.00	3.59	0.12	155.87
d2	-193.80	7.20	2.00	1.50	3.72	0.10	155.82
a3	-79.20	7.80	6.50	1.60	3.30	0.09	156.08
b3	-118.00	18.40	38.50	3.80	3.56	0.13	156.07
c3	-127.10	17.30	21.90	3.50	3.38	0.10	156.03

d3	-124.70	29.50	24.10	6.10	3.44	0.06	155.99
----	---------	-------	-------	------	------	------	--------

49. Melléklet a 18. számú 42CrMo4 fásasztó próbatest maradó feszültség adatai

18./ sörétezett							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-396.70	12.90	17.70	2.60	4.11	0.14	155.62
b1	-411.10	6.70	13.50	1.40	4.27	0.16	155.53
c1	-325.00	12.30	25.20	2.50	4.42	0.15	155.64
d1	-351.00	11.40	14.90	2.30	4.21	0.13	155.55
a2	-279.60	7.10	12.00	1.40	3.94	0.13	155.74
b2	-352.80	7.70	11.80	1.60	4.27	0.14	155.55
c2	-341.30	16.90	13.30	3.50	4.46	0.14	155.60
d2	-333.40	9.30	7.30	1.90	4.17	0.10	155.57
a3	-371.00	8.00	14.00	1.60	4.10	0.14	155.67
b3	-411.20	15.30	16.90	3.10	4.28	0.16	155.61
c3	-327.80	7.50	16.90	1.50	4.45	0.12	155.65
d3	-314.40	4.40	15.40	0.90	4.20	0.13	155.66
18./ 1. fásasztás után							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-366.90	10.90	3.90	2.20	4.04	0.17	155.66
b1	-383.70	10.90	6.70	2.20	4.24	0.13	155.61
c1	-328.70	14.50	16.10	3.00	4.36	0.16	155.66
d1	-350.20	9.70	9.90	2.00	4.15	0.13	155.61
a2	-277.20	4.70	6.20	1.00	3.84	0.10	155.72
b2	-335.60	7.90	4.70	1.60	4.20	0.12	155.60
c2	-330.90	4.00	7.60	0.80	4.31	0.14	155.61
d2	-336.80	8.50	8.20	1.70	4.10	0.15	155.55
a3	-325.60	7.90	-2.70	1.60	4.04	0.11	155.67
b3	-380.10	2.10	9.80	0.40	4.20	0.16	155.57
c3	-355.10	12.30	-3.40	2.50	4.41	0.14	155.62
d3	-353.80	7.80	6.60	1.60	4.15	0.11	155.58
18./ 2. fásasztás után							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-372.70	6.10	3.90	1.30	4.01	0.12	155.62
b1	-376.80	7.50	6.90	1.50	4.21	0.11	155.62
c1	-320.50	11.70	14.70	2.40	4.31	0.11	155.68
d1	-349.00	3.30	5.70	0.70	4.16	0.14	155.62
a2	-284.00	9.00	4.10	1.80	3.82	0.10	155.68
b2	-348.80	9.30	4.10	1.90	4.20	0.11	155.59
c2	-346.70	13.00	8.70	2.70	4.31	0.15	155.62
d2	-330.40	6.10	6.00	1.30	4.14	0.10	155.61
a3	-341.80	10.70	-1.10	2.20	4.01	0.15	155.66
b3	-391.80	5.40	6.90	1.10	4.21	0.13	155.60
c3	-375.70	13.70	0.30	2.80	4.36	0.09	155.54

d3	-363.80	10.60	5.20	2.20	4.14	0.15	155.59
18./ 3. fárasztás után							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-347.60	15.50	9.40	3.20	4.05	0.16	155.61
b1	-374.50	12.80	3.40	2.60	4.22	0.14	155.63
c1	-306.20	14.10	16.60	2.90	4.36	0.13	155.67
d1	-327.60	4.50	9.00	0.90	4.15	0.16	155.62
a2	-272.70	5.60	0.90	1.10	3.83	0.13	155.74
b2	-329.50	8.10	5.90	1.70	4.24	0.13	155.62
c2	-361.70	7.60	4.40	1.60	4.33	0.16	155.61
d2	-335.90	13.60	2.30	2.80	4.17	0.16	155.59
a3	-319.50	8.20	-0.90	1.70	4.02	0.13	155.69
b3	-380.90	8.10	4.10	1.70	4.24	0.11	155.61
c3	-357.50	18.80	-2.10	3.90	4.37	0.15	155.62
d3	-323.70	8.60	-0.40	1.80	4.10	0.14	155.65
18./ 4. fárasztás után							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-332.90	11.00	5.30	2.30	3.97	0.14	155.71
b1	-380.80	10.50	6.30	2.20	4.24	0.13	155.68
c1	-310.20	14.00	13.10	2.90	4.30	0.18	155.67
d1	-339.00	14.50	6.20	3.00	4.14	0.16	155.65
a2	-267.00	6.30	5.00	1.30	3.84	0.10	155.72
b2	-347.70	10.50	2.30	2.10	4.18	0.15	155.63
c2	-334.00	19.50	3.10	4.00	4.31	0.15	155.63
d2	-331.10	10.20	6.00	2.10	4.14	0.12	155.61
a3	-297.20	7.80	-3.40	1.60	3.98	0.15	155.77
b3	-377.40	9.20	-1.70	1.90	4.26	0.14	155.60
c3	-353.20	6.70	-7.00	1.40	4.37	0.15	155.66
d3	-313.40	6.80	3.20	1.40	4.08	0.11	155.66
18./ 5. fárasztás után							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-266.00	6.70	2.90	1.40	3.87	0.11	155.72
b1	-321.90	12.30	5.60	2.50	4.21	0.13	155.61
c1	-327.90	15.30	6.50	3.10	4.28	0.12	155.64
d1	-320.90	14.80	12.40	3.00	4.18	0.17	155.60
a2	-266.00	6.70	2.90	1.40	3.87	0.11	155.72
b2	-321.90	12.30	5.60	2.50	4.21	0.13	155.61
c2	-327.90	15.30	6.50	3.10	4.28	0.12	155.64
d2	-320.90	14.80	12.40	3.00	4.18	0.17	155.60
a3	-329.50	10.20	-4.90	2.10	3.98	0.12	155.73
b3	-365.80	6.50	5.90	1.30	4.20	0.15	155.61
c3	-337.00	16.10	-1.90	3.30	4.36	0.15	155.63
d3	-308.40	11.40	2.00	2.30	4.14	0.16	155.65
18./ 6. fárasztás után, törött							

hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-325.40	8.10	14.60	1.70	3.98	0.13	155.71
b1	-359.60	9.60	7.70	2.00	4.21	0.12	155.66
c1	-287.10	9.00	18.30	1.80	4.29	0.13	155.72
d1	-310.40	1.60	7.70	0.30	4.11	0.14	155.73
a2	-268.00	8.40	3.00	1.70	3.80	0.12	155.74
b2	-347.00	9.70	3.40	2.00	4.18	0.12	155.57
c2	-341.40	8.60	4.50	1.80	4.28	0.15	155.68
d2	-332.20	11.50	7.10	2.40	4.11	0.11	155.63
a3	-316.20	5.40	-0.70	1.10	3.99	0.16	155.72
b3	-378.30	6.20	7.90	1.30	4.17	0.11	155.61
c3	-353.30	12.80	0.30	2.60	4.35	0.16	155.62
d3	-337.60	9.70	9.00	2.00	4.12	0.09	155.65

50. Melléklet a 18. számú 42CrMo4 fárasztó próbatest maradó feszültség adatai

19./ sörétezett							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-345.10	9.30	17.70	1.90	4.23	0.13	155.57
b1	-260.90	6.10	21.70	1.30	4.41	0.12	155.71
c1	-296.60	7.40	18.90	1.50	3.92	0.16	155.65
d1	-254.80	7.10	19.00	1.50	3.78	0.10	155.70
a2	-249.40	8.20	17.00	1.70	3.96	0.11	155.70
b2	-183.90	4.40	14.90	0.90	3.93	0.13	155.81
c2	-228.70	8.10	17.60	1.70	3.84	0.12	155.77
d2	-244.00	6.20	14.20	1.30	3.59	0.09	155.73
a3	-293.30	7.00	13.50	1.40	3.94	0.10	155.71
b3	-174.10	7.40	13.20	1.50	3.87	0.08	155.87
c3	-179.40	8.20	13.40	1.70	3.92	0.10	155.78
d3	-215.60	8.60	12.70	1.80	3.57	0.10	155.77
19./ 1. fárasztás után							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-324.10	9.90	6.60	2.00	4.19	0.09	155.58
b1	-233.10	6.50	10.10	1.30	4.33	0.10	155.83
c1	-261.90	9.40	-0.40	1.90	3.86	0.08	155.72
d1	-248.10	7.30	9.00	1.50	3.78	0.11	155.72
a2	-242.00	6.20	7.90	1.30	3.85	0.10	155.72
b2	-193.90	8.70	-0.50	1.80	3.88	0.12	155.83
c2	-247.00	7.30	1.60	1.50	3.79	0.10	155.71
d2	-252.60	6.80	4.50	1.40	3.57	0.11	155.73
a3	-229.20	4.80	0.30	1.00	3.85	0.12	155.72
b3	-155.40	4.10	0.20	0.80	3.76	0.10	155.83
c3	-203.90	8.30	4.80	1.70	3.80	0.11	155.74
d3	-143.60	8.00	-1.30	1.60	3.44	0.09	155.86
19./ 2. fárasztás után							

hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-283.80	4.50	17.30	0.90	4.14	0.15	155.69
b1	-256.90	10.90	18.30	2.20	4.35	0.12	155.73
c1	-245.80	14.40	6.60	3.00	3.97	0.12	155.66
d1	-263.80	6.00	8.80	1.20	3.80	0.12	155.71
a2	-223.20	6.40	8.50	1.30	3.86	0.14	155.73
b2	-164.80	6.00	1.50	1.20	3.85	0.13	155.82
c2	-228.10	5.30	5.00	1.10	3.79	0.12	155.69
d2	-249.40	11.00	4.60	2.30	3.51	0.11	155.76
a3	-223.10	7.70	2.80	1.60	3.84	0.10	155.73
b3	-183.80	5.80	-2.50	1.20	3.76	0.11	155.83
c3	-207.30	29.00	11.70	6.00	3.78	0.09	155.73
d3	-122.30	9.60	-1.60	2.00	3.43	0.10	155.88
19./ 3. fárasztás után, törött							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-64.10	50.40	109.30	10.40	3.59	0.10	155.96
b1	-51.30	22.00	43.70	4.50	3.95	0.12	156.12
c1	-140.00	20.90	69.20	4.30	3.40	0.06	156.00
d1	-274.70	62.00	44.00	12.70	3.48	0.30	155.96
a2	-206.40	9.80	4.20	2.00	3.83	0.11	155.78
b2	-176.40	2.80	-0.10	0.60	3.77	0.10	155.89
c2	-199.10	2.40	1.90	0.50	3.73	0.10	155.81
d2	-202.20	5.30	1.20	1.10	3.52	0.11	155.90
a3	-206.70	7.00	15.30	1.40	3.72	0.10	155.76
b3	-164.20	6.60	7.30	1.30	3.69	0.12	155.87
c3	-166.60	4.70	5.00	1.00	3.74	0.12	155.78
d3	-121.40	5.10	10.90	1.10	3.40	0.09	155.93

51. Melléklet a 19. számú 42CrMo4 fárasztó próbatest maradó feszültség adatai

19./ sörétezett							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-345.10	9.30	17.70	1.90	4.23	0.13	155.57
b1	-260.90	6.10	21.70	1.30	4.41	0.12	155.71
c1	-296.60	7.40	18.90	1.50	3.92	0.16	155.65
d1	-254.80	7.10	19.00	1.50	3.78	0.10	155.70
a2	-249.40	8.20	17.00	1.70	3.96	0.11	155.70
b2	-183.90	4.40	14.90	0.90	3.93	0.13	155.81
c2	-228.70	8.10	17.60	1.70	3.84	0.12	155.77
d2	-244.00	6.20	14.20	1.30	3.59	0.09	155.73
a3	-293.30	7.00	13.50	1.40	3.94	0.10	155.71
b3	-174.10	7.40	13.20	1.50	3.87	0.08	155.87
c3	-179.40	8.20	13.40	1.70	3.92	0.10	155.78
d3	-215.60	8.60	12.70	1.80	3.57	0.10	155.77
19./ 1. fárasztás után							

hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-324.10	9.90	6.60	2.00	4.19	0.09	155.58
b1	-233.10	6.50	10.10	1.30	4.33	0.10	155.83
c1	-261.90	9.40	-0.40	1.90	3.86	0.08	155.72
d1	-248.10	7.30	9.00	1.50	3.78	0.11	155.72
a2	-242.00	6.20	7.90	1.30	3.85	0.10	155.72
b2	-193.90	8.70	-0.50	1.80	3.88	0.12	155.83
c2	-247.00	7.30	1.60	1.50	3.79	0.10	155.71
d2	-252.60	6.80	4.50	1.40	3.57	0.11	155.73
a3	-229.20	4.80	0.30	1.00	3.85	0.12	155.72
b3	-155.40	4.10	0.20	0.80	3.76	0.10	155.83
c3	-203.90	8.30	4.80	1.70	3.80	0.11	155.74
d3	-143.60	8.00	-1.30	1.60	3.44	0.09	155.86
19./ 2. fárasztás után							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-283.80	4.50	17.30	0.90	4.14	0.15	155.69
b1	-256.90	10.90	18.30	2.20	4.35	0.12	155.73
c1	-245.80	14.40	6.60	3.00	3.97	0.12	155.66
d1	-263.80	6.00	8.80	1.20	3.80	0.12	155.71
a2	-223.20	6.40	8.50	1.30	3.86	0.14	155.73
b2	-164.80	6.00	1.50	1.20	3.85	0.13	155.82
c2	-228.10	5.30	5.00	1.10	3.79	0.12	155.69
d2	-249.40	11.00	4.60	2.30	3.51	0.11	155.76
a3	-223.10	7.70	2.80	1.60	3.84	0.10	155.73
b3	-183.80	5.80	-2.50	1.20	3.76	0.11	155.83
c3	-207.30	29.00	11.70	6.00	3.78	0.09	155.73
d3	-122.30	9.60	-1.60	2.00	3.43	0.10	155.88
19./ 3. fárasztás után, törött							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-64.10	50.40	109.30	10.40	3.59	0.10	155.96
b1	-51.30	22.00	43.70	4.50	3.95	0.12	156.12
c1	-140.00	20.90	69.20	4.30	3.40	0.06	156.00
d1	-274.70	62.00	44.00	12.70	3.48	0.30	155.96
a2	-206.40	9.80	4.20	2.00	3.83	0.11	155.78
b2	-176.40	2.80	-0.10	0.60	3.77	0.10	155.89
c2	-199.10	2.40	1.90	0.50	3.73	0.10	155.81
d2	-202.20	5.30	1.20	1.10	3.52	0.11	155.90
a3	-206.70	7.00	15.30	1.40	3.72	0.10	155.76
b3	-164.20	6.60	7.30	1.30	3.69	0.12	155.87
c3	-166.60	4.70	5.00	1.00	3.74	0.12	155.78
d3	-121.40	5.10	10.90	1.10	3.40	0.09	155.93

52. Melléklet a 20. számú 42CrMo4 fárasztó próbatest maradó feszültség adatai

20./ sörétezett

hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-299.30	5.50	-1.10	1.10	3.82	0.09	155.70
b1	-332.30	6.20	2.30	1.30	3.54	0.12	155.71
c1	-230.00	6.70	2.20	1.40	3.62	0.11	155.76
d1	-228.70	10.40	-0.30	2.10	3.76	0.09	155.77
a2	-255.20	11.80	0.20	2.40	3.83	0.11	155.71
b2	-286.10	6.00	3.40	1.20	3.52	0.11	155.70
c2	-209.80	7.80	7.80	1.60	3.65	0.11	155.76
d2	-161.20	7.20	-2.30	1.50	3.80	0.09	155.82
a3	-310.30	8.60	-13.50	1.80	3.97	0.10	155.67
b3	-357.00	3.90	-8.30	0.80	3.90	0.12	155.67
c3	-239.80	4.40	2.10	0.90	3.62	0.13	155.76
d3	-195.80	2.70	-2.00	0.50	3.76	0.09	155.79
20./ 1. fárasztás után							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-277.60	9.30	14.00	1.90	3.49	0.07	155.71
b1	-271.00	12.10	12.90	2.50	3.26	0.09	155.78
c1	-227.00	9.70	13.60	2.00	3.39	0.06	155.78
d1	-242.20	11.70	13.70	2.40	3.41	0.10	155.80
a2	-211.00	8.90	12.60	1.80	3.56	0.07	155.70
b2	-240.80	15.10	7.90	3.10	3.27	0.07	155.80
c2	-194.20	13.90	14.50	2.90	3.37	0.07	155.84
d2	-163.50	11.00	11.50	2.30	3.53	0.07	155.78
a3	-334.20	13.30	2.90	2.70	3.59	0.10	155.71
b3	-313.40	10.10	6.60	2.10	3.55	0.07	155.77
c3	-236.70	16.40	15.10	3.40	3.41	0.07	155.65
d3	-159.20	13.00	-3.10	2.70	3.56	0.08	155.73
20./ 2. fárasztás után							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	elveszett az adat						
b1							
c1							
d1							
a2							
b2							
c2							
d2							
a3							
b3							
c3							
d3							
20./ 3. fárasztás után							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-277.00	7.50	3.30	1.50	3.84	0.10	155.71

b1	-276.60	8.70	3.90	1.80	3.52	0.12	155.72
c1	-212.10	5.00	-2.00	1.00	3.63	0.09	155.81
d1	-224.20	11.50	1.40	2.40	3.74	0.11	155.76
a2	-234.30	5.10	-0.50	1.10	3.84	0.10	155.70
b2	-232.60	6.60	2.10	1.40	3.52	0.11	155.78
c2	-210.70	5.30	7.90	1.10	3.67	0.11	155.78
d2	-165.10	8.10	0.30	1.70	3.79	0.10	155.75
a3	-311.90	7.10	-14.30	1.40	4.01	0.14	155.65
b3	-304.80	11.30	-7.70	2.30	3.88	0.12	155.70
c3	-247.00	6.40	-0.50	1.30	3.64	0.12	155.75
d3	-205.40	6.80	-11.10	1.40	3.82	0.10	155.77
20./ 4. fárasztás után							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-268.70	7.80	3.20	1.60	3.83	0.10	155.74
b1	-273.40	6.00	-0.40	1.20	3.50	0.12	155.78
c1	-214.00	9.70	-1.80	2.00	3.64	0.09	155.81
d1	-234.00	12.00	3.40	2.50	3.76	0.11	155.79
a2	-263.20	12.20	4.50	2.50	3.86	0.12	155.67
b2	-221.20	9.00	0.10	1.80	3.51	0.12	155.76
c2	-206.50	6.70	4.60	1.40	3.65	0.09	155.75
d2	-152.10	11.20	-2.00	2.30	3.77	0.09	155.81
a3	-324.50	9.00	-9.20	1.80	3.96	0.14	155.65
b3	-298.60	10.90	-7.10	2.20	3.90	0.12	155.69
c3	-245.40	9.00	-2.00	1.80	3.61	0.11	155.75
d3	-188.40	8.30	-16.30	1.70	3.84	0.11	155.76
20./ 5. fárasztás után							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-293.40	5.80	12.30	1.20	3.79	0.11	155.74
b1	-285.80	5.50	8.10	1.10	3.47	0.13	155.76
c1	-203.20	9.50	5.20	2.00	3.58	0.11	155.81
d1	-242.50	9.10	9.80	1.90	3.73	0.12	155.82
a2	-259.00	5.20	6.00	1.10	3.82	0.08	155.74
b2	-245.50	6.80	6.80	1.40	3.48	0.10	155.79
c2	-204.60	10.30	12.50	2.10	3.60	0.09	155.81
d2	-177.30	6.70	2.70	1.40	3.79	0.09	155.80
a3	-323.40	8.70	-4.80	1.80	3.94	0.15	155.68
b3	-305.90	5.70	-0.40	1.20	3.82	0.14	155.75
c3	-246.50	10.20	3.00	2.10	3.59	0.12	155.75
d3	-203.00	3.80	-6.10	0.80	3.79	0.12	155.79
20./ 6. fárasztás után							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-297.40	6.40	9.90	1.30	3.80	0.11	155.71
b1	-286.40	4.40	4.10	0.90	3.47	0.13	155.76
c1	-194.00	7.30	3.20	1.50	3.55	0.10	155.81

d1	-245.40	6.40	10.40	1.30	3.71	0.09	155.76
a2	-250.90	5.00	3.00	1.00	3.80	0.11	155.69
b2	-252.40	6.90	0.20	1.40	3.48	0.10	155.76
c2	-205.50	10.60	5.10	2.20	3.60	0.09	155.81
d2	-173.60	5.20	1.90	1.10	3.78	0.10	155.77
a3	-332.20	7.50	-5.00	1.50	3.94	0.12	155.68
b3	-294.90	6.50	-3.90	1.30	3.86	0.12	155.73
c3	-257.00	5.90	1.30	1.20	3.59	0.10	155.79
d3	-212.40	6.20	-6.70	1.30	3.75	0.09	155.81
20./ 7. fárasztás után							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-243.40	4.30	6.60	0.90	3.76	0.11	155.74
b1	-250.20	9.30	9.50	1.90	3.51	0.11	155.75
c1	-163.10	6.70	3.60	1.40	3.58	0.10	155.83
d1	-210.30	10.30	7.20	2.10	3.71	0.14	155.79
a2	-230.30	8.20	1.20	1.70	3.82	0.11	155.71
b2	-220.50	10.10	2.80	2.10	3.48	0.09	155.80
c2	-183.30	10.60	7.60	2.20	3.64	0.08	155.79
d2	-150.70	6.10	-0.70	1.30	3.78	0.09	155.82
a3	-295.80	5.40	-8.70	1.10	3.94	0.13	155.69
b3	-274.00	3.90	-9.50	0.80	3.86	0.12	155.76
c3	-217.70	7.00	1.00	1.40	3.57	0.10	155.80
d3	-177.70	8.70	-10.60	1.80	3.80	0.09	155.78
20./ 8. fárasztás után							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-270.00	6.90	8.80	1.40	3.75	0.11	155.83
b1	-283.40	6.50	2.60	1.30	3.48	0.12	155.87
c1	-200.40	1.80	-1.80	0.40	3.56	0.11	155.93
d1	-236.30	9.60	3.50	2.00	3.69	0.11	155.88
a2	-247.90	8.10	1.40	1.70	3.77	0.11	155.83
b2	-243.10	4.70	-0.30	1.00	3.48	0.09	155.91
c2	-192.10	7.50	5.90	1.50	3.60	0.10	155.84
d2	-174.90	6.20	-2.70	1.30	3.74	0.11	155.89
a3	-304.10	8.40	-11.20	1.70	3.96	0.13	155.77
b3	-301.70	6.70	-10.10	1.40	3.84	0.11	155.85
c3	-247.80	7.00	2.30	1.40	3.56	0.09	155.88
d3	-201.60	5.60	-10.50	1.20	3.76	0.10	155.91
20./ 9. fárasztás után							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-262.00	9.60	3.10	2.00	3.80	0.10	155.74
b1	-255.50	6.30	-2.40	1.30	3.48	0.11	155.79
c1	-165.00	6.40	0.10	1.30	3.55	0.11	155.82
d1	-216.90	10.00	3.90	2.10	3.70	0.11	155.78
a2	-223.80	9.90	1.80	2.00	3.82	0.11	155.71

b2	-207.20	5.70	0.10	1.20	3.47	0.10	155.78
c2	-171.50	11.00	6.30	2.30	3.64	0.10	155.79
d2	-151.50	7.70	-5.00	1.60	3.76	0.07	155.80
a3	-287.40	6.50	-9.10	1.30	3.95	0.11	155.67
b3	-292.00	7.50	-9.10	1.50	3.87	0.11	155.75
c3	-225.30	7.30	0.10	1.50	3.59	0.09	155.77
d3	-171.90	6.70	-13.70	1.40	3.78	0.11	155.81
20./ 10. fárasztás után, törött							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	-245.30	8.70	13.20	2.00	3.78	0.12	155.78
b1	-244.70	9.70	23.40	2.20	3.57	0.14	155.74
c1	-176.60	11.30	7.20	2.50	3.61	0.12	155.85
d1	-223.00	9.70	9.00	2.20	3.73	0.11	155.81
a2	-213.10	10.00	6.20	2.20	3.84	0.10	155.74
b2	-219.90	11.00	0.00	2.50	3.51	0.09	155.81
c2	-182.90	10.70	13.90	2.40	3.65	0.10	155.78
d2	-145.20	8.70	2.40	1.90	3.77	0.10	155.83
a3	-257.40	4.90	-9.10	1.10	4.01	0.13	155.75
b3	-283.90	15.90	-1.90	3.60	3.87	0.13	155.77
c3	-224.00	7.80	5.90	1.70	3.61	0.10	155.78
d3	-188.20	4.00	-0.50	0.90	3.81	0.09	155.84

53. Melléklet a H jelű 42CrMo4 fárasztó próbatest maradó feszültség adatát

H./ sörétezett							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	58.40	15.20	10.80	3.10	2.61	0.13	156.02
b1	88.00	19.30	-2.80	4.00	2.50	0.11	156.13
c1	56.50	17.20	5.90	3.50	2.55	0.09	156.11
d1	53.40	37.20	-6.80	7.60	2.57	0.14	156.09
a2	46.40	21.30	-11.00	4.40	2.48	0.10	156.07
b2	28.80	15.40	-4.60	3.20	2.56	0.11	156.10
c2	34.10	27.00	-5.90	5.50	2.53	0.12	156.09
d2	33.70	31.00	-2.00	6.40	2.48	0.11	156.10
a3	36.20	22.70	-5.80	4.70	2.35	0.11	156.09
b3	11.30	6.30	-6.00	1.30	2.43	0.12	156.07
c3	-30.80	25.10	-0.70	5.10	2.50	0.13	156.02
d3	21.70	16.60	-4.90	3.40	2.45	0.11	156.09
H./ 1. fárasztás után							
hely	σ (MPa): 0.0°	(\pm)	τ (MPa): 0.0°	(\pm)	FWHM(°): 0.0°	(\pm)	2 θ : 0.0°
a1	45.10	28.00	2.60	5.70	2.54	0.10	155.95
b1	33.70	22.70	14.00	4.70	2.49	0.12	156.11
c1	17.40	10.20	15.80	2.10	2.50	0.09	156.13
d1	-6.50	39.60	4.20	8.10	2.53	0.10	156.06
a2	14.90	38.50	-16.20	7.90	2.46	0.10	156.04

b2	7.90	12.50	6.30	2.60	2.52	0.07	156.11
c2	29.30	25.40	8.00	5.20	2.44	0.07	156.10
d2	22.50	24.40	6.40	5.00	2.51	0.11	156.13
a3	6.70	21.70	9.20	4.50	2.33	0.13	156.14
b3	2.40	10.80	-4.20	2.20	2.41	0.13	156.11
c3	-56.70	26.80	-1.30	5.50	2.45	0.09	156.07
d3	22.80	10.80	12.30	2.20	2.44	0.10	156.05
H./ 2. fárasztás után							
hely	σ (MPa): 0.0°	(±)	τ (MPa): 0.0°	(±)	FWHM(°): 0.0°	(±)	2 θ : 0.0°
a1	36.70	8.40	2.30	1.90	2.63	0.12	156.05
b1	60.10	16.90	-4.60	3.80	2.58	0.13	156.16
c1	-14.60	4.00	4.80	0.90	2.67	0.13	156.06
d1	65.70	27.30	-6.30	6.10	2.66	0.09	156.17
a2	9.30	14.70	-12.40	3.30	2.55	0.12	156.07
b2	15.80	33.20	0.90	7.40	2.64	0.13	156.16
c2	36.50	36.20	2.20	8.10	2.59	0.11	156.15
d2	45.20	27.20	0.20	6.10	2.61	0.15	156.14
a3	a törés kerületén nincs adat						
b3							
c3							
d3							