

KÉTFÁZISÚ ACÉLLEMEZEK RÁNCOSODÁSÁNAK VIZSGÁLATA DEFORMÁCIÓS TÉRKÉP SEGÍTSÉGÉVEL

INVESTIGATION OF THE WRINKLING CHARACTERISTIC OF DUAL-PHASE STEELS BY USING DEFORMATION MAPS

Borbély Richárd ⁰⁰⁰⁰⁻⁰⁰⁰³⁻³³⁹¹⁻²⁶⁶⁶ ^{1*}, Szőke Dániel Gyula ⁰⁰⁰⁰⁻⁰⁰⁰³⁻¹²³²⁻²²⁴⁵

¹, Köllös Martin László ⁰⁰⁰⁰⁻⁰⁰⁰²⁻⁴⁸⁵⁴⁻⁸⁶⁸⁷ ¹, Béres Gábor József ⁰⁰⁰⁰⁻⁰⁰⁰²⁻¹⁴⁹⁶⁻⁵⁶¹⁸ ¹

¹ Informatika Tanszék, GAMF Műszaki és Informatikai Kar, Neumann János Egyetem, Magyarország
<https://doi.org/10.47833/2023.1.ENG.008>

Kulcsszavak:

Ráncosodás
Alakváltozás mérés
Ráncgátló erő

Keywords:

Wrinkling
Strain measurement
Blank-holder force

Cikktörténet:

Beérkezett 2022. október 10.
Átdolgozva 2022. október 31.
Elfogadva 2022. november 5.

Összefoglalás

A leggyakoribb tönkremeneteli módok a lemezalakításban az elvékonyodás, a szakadás és a ráncosodás. A tervezési fázisban éppen ezért igyekszünk ezen tönkremenetelleket megakadályozni. Az elvékonyodás és a szakadás jelenségére számos elmélet született, amely törekszik arra, hogy minél pontosabb alakváltozási határértékeket fogalmazzon meg, ellenben a ráncosodás, egy kevésbé kutatott terület. Ebben a cikkben, mélyhúzott csészék peremének alakváltozásain keresztül vizsgáljuk annak a lehetőségét, hogy egy ráncosodási kritériumot állítsunk fel, amely segítheti a tervezési fázist, mint bemeneti paraméter. A tesztek azonos paraméterek mellett szimulációs és valós környezetben is elvégeztük.

Abstract

In sheet metal forming, the most common forms of failure are necking, tearing and wrinkling. The challenge in technology design is to predict and prevent these failures. Although several studies has been carried out in the field of necking and rupture failure, the area of wrinkling is less researched. In this paper, we investigate how to establish a wrinkling criterion by examining the deformation field, i.e. the deformation map on drawn cups' flange. In this study we investigated the wrinkling behaviour on deep-drawn cups, by varying the normal forces. The physical tests were also implemented into a finite element software, for subsequent validation. Our results show that the deformation measuring could be a useful tool for the wrinkling definition, with the proper selection of the border values of the phenomenon.

1. Bevezetés

A kétfázisú acélok széleskörben használatosak a kiváló mechanikai paramétereiknek köszönhetően. A szövetszerkezetük ferritet és martenzitet tartalmaz, amely biztosítja a munkadarab jó alakíthatóságát amellet, hogy a szilárdsági paraméterei megmaradnak. A felhasználási területet tekintve az autóiparban találkozhatunk leginkább kétfázisú acélokkal, ahol az autók szerkezeti elemeit és karosszéria elemeit egyaránt több fázisú acéllemezekből gyártják. Jelentőségüket, a témában található számos kutatás is bizonyítja.

A kutatások egy része a kétfázisú acélok alakíthatósági határdiagramját igyekszik minél pontosabban meghatározni. Az alakítási határdiagram különböző feszültségállapotok mellett alakított munkadarabok viselkedését írja le, egészen a kritikus elvékonyodás (kontrakció) vagy a

* Borbély Richárd
E-mail cím: borbely.richard@gamf.uni-neumann.hu

szakadás pillanatáig. Az így keletkezett adathalmazt végül az alakítási határgörbe összegezi, amely tehát a különböző feszültségállapotban végzett alakítási műveletek kontrakcióig, vagy szakadásig terjedő határait írja le a kisebb- és a nagyobb főalakváltozások koordináta rendszerében. Merklein, Kuppert és Geiger [4] e téren egy olyan időfüggő módszert alkottak, meg amely a szakadási zóna pontos meghatározására alkalmas. Az elmélet azon alapul, hogy a fémes anyagra ható erő következtében a deformációs sebesség megnövekszik, amint a kritikus elvékonyodás és az ezzel járó szakadás megkezdődik. Ezen gyorsulás detektálásával a tönkremenetel előtti legközelebbi időpontot tudjuk meghatározni, azaz a határdiagram meghatározása pontosabb. Az így kapott alakítási határdiagramok pedig fontos bemeneti paraméterei a vége-selemes szimulációs szoftvereknek, amelynek köszönhetően pontosabb, valósághű szimulációkat tudunk létrehozni.

A tönkremeneteli módok közül gyakoriságot tekintve, a második a sorban a ráncosodás. A ráncosodás jelensége különösen akkor problémás, amikor a végtermékeknek, esztétikai követelményeknek is meg kell felelnie, illetve ha az ellehetetlenít egy későbbi alakítási műveletet. Ilyen esztétikai követelmény fennállhat, a már fentebb említett autó karosszéria elemeknél is. A ráncok a mélyhúzás során a kezdeti fázisokban jelennek meg, ennek ellenére viszont a későbbi műveletekben is problémát jelenthetnek. A ráncosodást néhány paraméter nagymértékben befolyásolja, ilyenek a kiinduló teríték méretei, a súrlódási körülmények és a ráncgátló erő mértéke. Az utóbbit Wang és Cao [3][6] tanulmányozta, akik arra törekedtek, hogy meghatározzák a ráncok elnyomásához szükséges optimális ráncgátló erőt, feszültség alapú egyenletek segítségével. Általánosságban kijelenthető, hogy a szakadás és a ráncosodás megítélése nem teljesen egyértelmű, jelenlétük megítélése szubjektív, emberi tényezőtől függ. Pontosan ezért, Wang és Cao tanulmányában is szükség volt egy peremfeltételre, amely alapján meghatározható, hogy mikor kezdődik a ráncosodás jelensége, ezt pedig a ráncosodás karakterisztikájának változása jelentette. A határt a ráncok karakterisztikájának fél-szinuszos hullámból, szinuszos hullámba való megváltozása jelentette.

Hutchinson és Neale [2] kidolgozott egy (itt nem részletezett) egyenletet, amely kimondja, hogy a ráncosodás akkor következik be, ha az egyenlet két oldalán elhelyezkedő különböző feszültségértékeket jelölő tagjainak összege nulla.

A következő tanulmányban, igyekeztünk a ráncosodás jelenségét, különböző ráncgátló erők alkalmazásával elérni, és meghatározni egy olyan ráncosodási kritériumot az eredményekből, amelyek hasznos bemeneti paraméterként szolgálhatnak a munkadarabok technológiai tervezése során. Továbbá megvizsgáljuk a deformációs mező változását egy feltételrendszer felállítása érdekében. A kísérletek mellett a vizsgálatokat szimulációs környezetben is reprodukáljuk a folyamat mélyebb megértése érdekében.

2. A kutatáshoz használt módszerek és anyagok

A következő részben ismertetem a kísérleti és szimulációs környezetben végzett tesztek bemeneti paramétereit.

2.1. Anyagválasztás

A munkadarab, amelyet a tesztekhez használtunk, kereskedelmi forgalomban kapható DP600-as acélból készült. A darab kiinduló átmérője $\varnothing 66 \pm 0.1$ mm, kiinduló vastagsága pedig 1 ± 0.03 mm volt. A munkadarabokat forgácsolással, táblalemezből munkáltuk ki.

2.2. Hálózás

A munkadarabok méretre vágása után, a felületet a szennyeződések eltávolítása és az egyenletes felület létrehozása érdekében csiszoltuk. A kézi csiszolást különböző érdességű csiszolópapírral végeztük, sorban 200-400-600 és végül 1200-as szemcsenagyságra csökkentettük. Ezután a munkadarabok hálózása következett. A munkadarabok hálózása fontos a digitális képalkotás során, mivel a mérés során a háló rácspontjait, és ezek változásait mérjük, amelyből később az eredmény származik. A hálózáshoz Sericol (PS001) festéket és ehhez tartozó katalizátort (PS387) kevertünk 5 az 1-hez arányban, amelyhez végezetül 10%-os arányban hígítót adtunk. A hálóméretet 2 mm^2 -nek választottuk, a száradási idő pedig megközelítőleg 5 óra volt szobahőmérsékleten.

2.3. Mélyhúzás

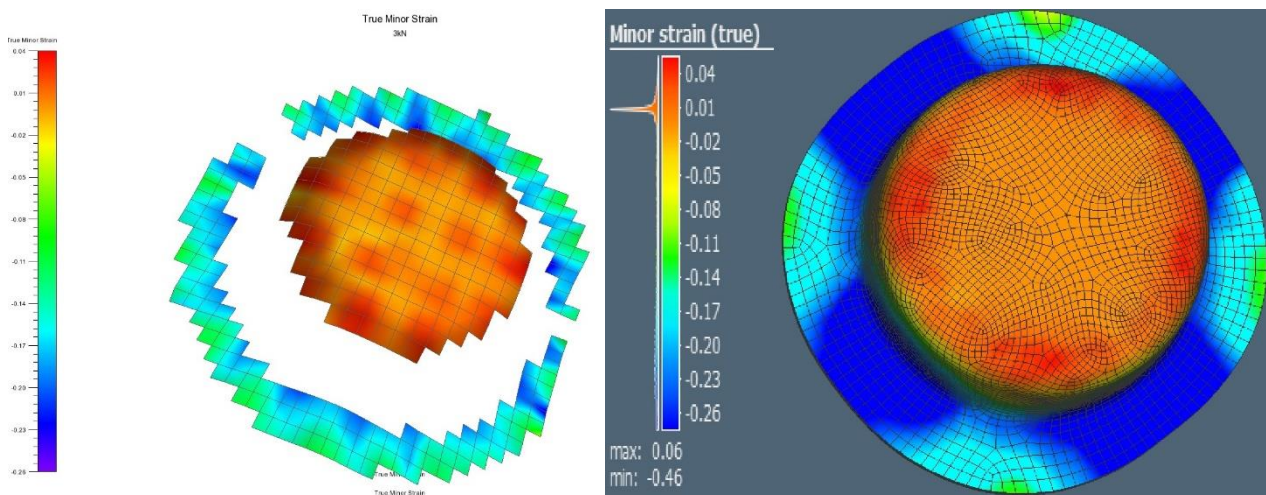
A csészek mélyhúzását egy ERICHSEN-142-40 típusú lemezvizsgáló berendezésen végeztük, amely berendezés húzógyűrűjének lekerekítési sugara 3 mm-es volt. A mélyhúzási sebesség 20 ± 0.2 mm/min, míg a mélyhúzási mélység 20 ± 0.2 mm volt. Az így kapott mélyhúzott csészek átmérője 35 ± 0.2 mm volt. A ráncgátló erőt három különböző értéknek választottuk meg, melyek sorban: 3-4-5 kN voltak. A mélyhúzás végét a választott mélyhúzási mélység elérése jelentette. Az optimális súrlódási körülmények eléréséhez ún. szendvics-kenést alkalmaztunk, amely a polietilén fólia és alakító technológiákhoz használatos kenőolaj közös használatát jelentette a húzógyűrű felőli oldalán. A polietilén fólia vastagsága 0.05 mm volt, az olaj típusa pedig BWS HK-280, hidegalakításhoz használt kenőanyag. Az olaj mennyisége a munkadarabokon átlagosan 87.85 g/m² volt. A deformációt a mélyhúzások után a csészek peremén vizsgáltuk, egy Vialux in-process® négy kamerás alakváltozás mérő rendszerrel.

2.4. Szimuláció

A tesztek szimulációs környezetben is létrehoztuk, mégpedig a Simufact Forming 2021.1 végelesemes szoftverben. A bemeneti paramétereket a következők szerint adtuk meg: a Coulomb-féle súrlódási tényező a lemezteríték és a ráncgátló között 0.12, amíg a lemezteríték és a húzóbéllyeg között 0.20-es értékű volt. A kiinduló elem méret 1.4 mm-es volt és a munkadarabot 3 rétegben hálóztuk vastagság irányban, amely 6696-os elemszámot eredményezett. A fizikai teszteknek megfelelően a szimulációkat is szobahőmérsékleten (20°C) végeztük. Az anyagra jellemző bemeneti paraméterek közül a folyásgörbe adatait szakító-tesztek adataiból származtattuk és a Hockett-Sherby [1] egyenlettel írtuk le. A folyási feltétel a Hill'48-as [5] modell szerint került meghatározásra, ahol az anizotrópia (R) értékét szintén szakítóvizsgálatok adataiból nyertük. Az eredmények, amelyeket szimulációs környezetben értünk el, jó egyezést mutattak a kísérleti úton elért eredményekkel.

3. Eredmények

Ebben a részben a kísérleti és szimulációs környezetben elért tesztek eredményeit fogjuk bemutatni. Az eredmények sorban a különböző ráncgátló erővel leszorított darabok képeit fogják mutatni. A ráncokat a mélyhúzott csészek peremén vizsgáltuk. A perem részen az inhomogén deformációs értékek a ráncok jelenlétét reprezentálják, ugyanis a ráncok kialakulása a felületen eltérő mértékben deformálja a hálózott munkadarab kiinduló négyzeteit. Ahogyan ez látható is az 1. ábrán, a könnyebb leolvasás érdekében, ezt a szoftver különböző színekkel is jelöli.

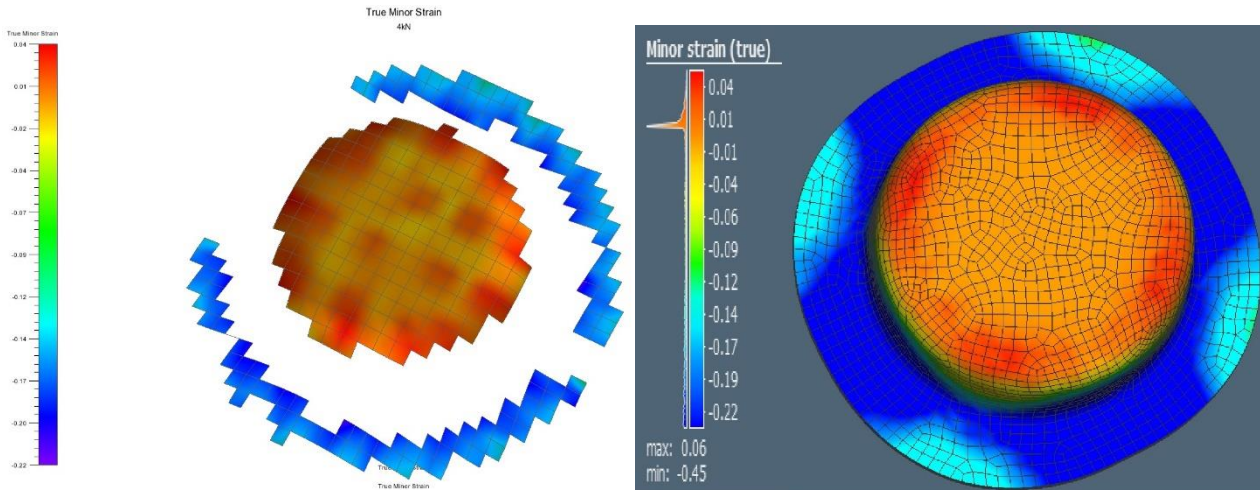


1. ábra: 3 kN ráncgátló erővel mélyhúzott darab főalakváltozásai valós- (balról) és szimulációs környezetben

A két kép láthatóan egymással viszonylag jó egyezést mutat. Megfigyelhető, hogy a peremfelületen mért értékek közel azonosak. Az is látható, hogy a peremfelületen különböző

alakváltozási értékeket találunk, ami a ráncosodás meglétét jelzi számunkra. Ez azt jelenti, hogy a választott 3 kN-os ráncgátló erő a meglévő súrlódási és környezeti paraméterek mellett nem volt elegendő ahhoz, hogy a ráncosodás jelenségét megakadályozza. Ez, a valós munkadarabokon szabad szemmel is jól látható volt.

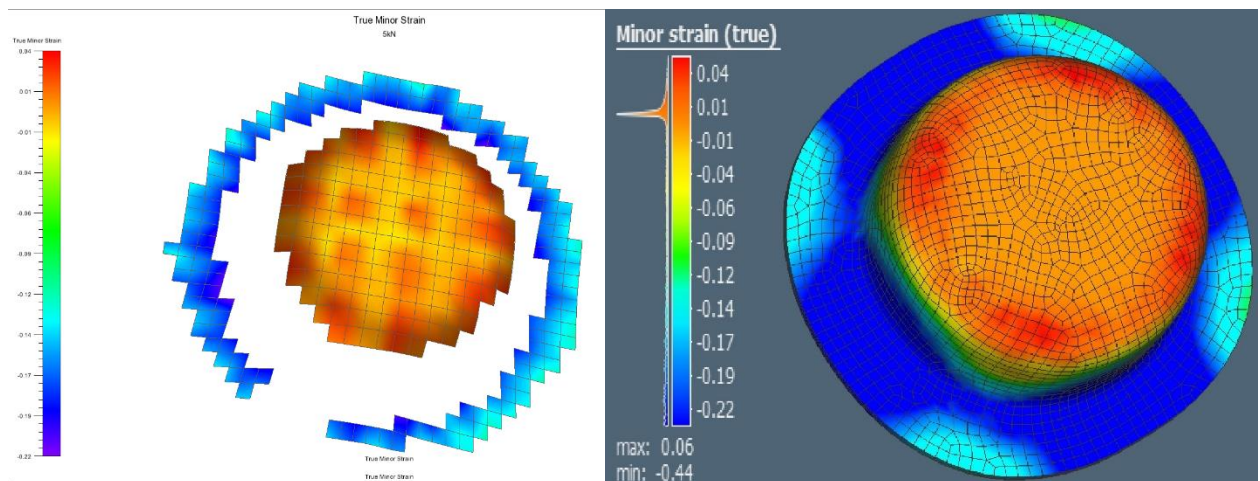
A következő lépésben a megnöveltük a ráncgátló erőt 4 kN-ra, amitől azt reméltük, hogy a ráncok száma jelentősen lecsökken vagy a ráncosodási jelenség akár teljesen meg is szűnik. Ahogy a 2. ábrán látható, a ráncok száma jelentősen lecsökkent, mondhatni teljesen megszűntek a ráncok és az alakváltozási mező értékeiben is minimális csökkenés figyelhető meg.



2. ábra: 4 kN ráncgátló erővel mélyhúzott darab főalakváltozásai valós és szimulációs környezetben

Ismét megállapítható, hogy a kísérleti úton kapott eredmények jó korrelációt mutatnak a szimulációból kapott eredményekkel.

A teszt következő lépésében ismét megnöveltük a ráncgátló erőt, ezúttal 5 kN-ra. A 3. ábrán látható, hogy a munkadarabok peremén a deformációs értékek közel azonosak, ami arra utal, hogy a ráncok teljesen eltűntek.



3. ábra: 5 kN ráncgátló erővel mélyhúzott darab főalakváltozásai valós és szimulációs környezetben

Az tehát kijelenthető, hogy a valóságban és a szimulációban kapott eredmények közel azonos értékeket mutatnak. Azt is láthatjuk, hogy a 4 kN ráncgátló erővel leszorított darab és az 5 kN ráncgátló erővel leszorított darab deformációs térképe között nem látható jelentős különbség, ami azt jelenti, hogy az optimális ráncgátló erő valahol e két érték körül található. Ennek megállapítására azonban további tesztek elvégzése szükséges.

4. Konklúzió

Cikkünkben a ráncok kialakulását vizsgáltuk mélyhúzott csészék deformációs térképén keresztül, valós környezetben és szimulációs környezetben egyaránt. A vizsgált munkadarab DP600-as lemezanyagból készült, névleges kiinduló átmérője 66 mm, kiinduló vastagsága pedig 1 mm volt. A valós környezetben végzett tesztek során a munkadarab mélyhúzáson esett át, a szimulációkat pedig Simufact Forming® végelesemes szoftverben készítettük. Ahogy korábban említettük, a ráncosodás megítélése szubjektív, emberi tényezőtől függő jelenség, és a célunk egy ráncosodási kritérium megalkotásának alapjául szolgáló kísérletsorozat végrehajtása volt. A kapott eredményeket is felhasználva, egy ilyen kritérium később, mint bemeneti paraméter segítheti a szimulációs programokban tervezett munkadarabok, alkatrészek tervezési fázisát. A jelen tanulmányban részletezett módszer alkalmas arra, hogy az alakváltozási értékek segítségével nyomon kövessük a ráncok megjelenését és azok megszűnését is. A ráncosodási kritérium megalkotásához azonban további vizsgálatokra van szükség, amelyeket e módszer további alkalmazásával fogunk elvégezni.

5. Köszönetnyilvánítás

Szeretnék köszönetet mondani, a Neumann János Egyetemnek, hogy biztosította a kutatáshoz szükséges anyagokat és berendezéseket.

6. Irodalomjegyzék

- [1] J.E. Hockett, O.D. Sherby: 1975. J. Mech. Phys. Solids, 23, 87-98.
- [2] J. W. Hutchinson, K. W. Neale: Wrinkling of curved thin sheet metal, Proceedings of International Symposium on Plastic Instability, Paris, France, pp. 1841–1914 (1985)
- [3] Jian Cao, Xi Wang: An analytical model for plate wrinkling under tri-axial loading and its application, International Journal of Mechanical Sciences 42 (2000) 617-633 PII: S 0 0 2 0 - 7 4 0 3 (9 8) 0 0 1 3 8 - 6
doi.org/10.1016/S0020-7403(98)00138-6
- [4] M. Merklein , A. Kuppert, M. Geiger: Time dependent determination of forming limit diagrams, Elsevier CIRP Annals - Manufacturing Technology 59 (2010) 295–298 doi:10.1016/j.cirp.2010.03.001
- [5] R. Hill: 1947. A theory of the yielding and plastic flow of anisotropic metals. The hydrodynamics of non-Newtonian fluids. I, 281-297. doi.org/10.1098/rspa.1948.0045
- [6] Xi Wang ; Jian Cao: An Analytical Prediction of Flange Wrinkling in Sheet Metal Forming, Journal of Manufacturing Processes, Vol. 2/No. 2 2000 doi.org/10.1016/S1526-6125(00)70017-X