

SÁLYI ISTVÁN
GÉPÉSZETI TUDOMÁNYOK DOKTORI ISKOLA
MISKOLCI EGYETEM

EGYSZERŰSÍTETT KÖZELÍTŐ MÓDSZER
A BORDAERŐ MEGHATÁROZÁSÁRA

PhD téziszfüzet

Készítette:
Kirchfeld Mária

Tudományos vezető:
Dr. Tisza Miklós

MISKOLC
2002

*Köszönetemet fejezem ki mindazoknak, akik
munkámat valamilyen módon segítették,
bízottak, tartották bennem a lelket,
és az elmúlt három év alatt elviseltek.*

1. A kitűzött kutatási feladat

Hazai és nemzetközi viszonylatban is fontos szerepet játszanak a kis és középvállalkozások. A fémipari ágazatban jó néhány közülük lemezalakító technológiával készíti termékét. A gyártmány-, szerszám- és gyártási folyamattervezésben óriási lehetőséget jelentenek a szoftverrendszerek. A képlékenyalakítási folyamatok modellezésére, a technológiai paraméterek meghatározására a véges elemes szoftvermodulok illetve programok adnak módot. Nem minden esetben van azonban anyagi lehetőség ezek megvásárlására, és nincs is mindig szükség bonyolult elemzésre. Sok esetben az elemi képlékenységtan összefüggései, egyszerűsített eljárások is célhoz vezetnek.

A lemezalakító technológiáknál a gyártmány minőségét befolyásoló fontos tényező az anyagáramlás szabályozása. A szabályozás erőszükségletét a ráncfogó erővel, s ahol szükséges húzó- illetve fékezésborda által kifejtett bordaerővel biztosítják. A bordaerő nagysága a bordageometria, a lemezanyag jellemzők, a súrlódási viszonyok valamint a bordamagasság függvénye.

A húzóbordák kialakítására vonatkozó általános tervezési elvek csak referencia jellegűek.

A bordák kialakítása és beüzemelése, mind a mai napig gyakran gyakorlati feladat. A szerszám kialakításakor kis bordamérettel, félkör alakú bordánál kis rádiusszal indítanak, így biztosítva a nagy alakváltozást, ami azonban magában hordja a szakadás veszélyét. Ennek kiküszöbölésére növelik a horony- illetve a bordasugarakat. A változtatásokat gyakran hegesztéssel vagy reszeléssel végzik. Ugyanakkor a valós hajlítási sugarak valójában a bordamagasság függvényei és érzékenyen reagálnak annak változására. A bordaerő ismerete a szerszám- és technológiatervezés szerves része. A dolgozatban vizsgált és továbbfejlesztett eljárással ennek meghatározásához kívánok segítséget nyújtani. A bordaerő meghatározására számos módszer létezik. A dolgozat ezek közül a gyakorlatban jól használhatónak ítélt és mindenki számára hozzáférhető, számítógépes programokkal kezelhető módszerek egyikével foglalkozik.

A dolgozat fő célkitűzése a kiválasztott módszer általános megbízhatóságának vizsgálata, továbbá olyan kiegészítő, az alakítási folyamatok során fellépő geometriai viszonyokat tükröző összefüggések kidolgozása, amelyek felhasználásával a vizsgált matematikai modell alkalmassá válik bármely bordamagasságnál a bordaerőnek a műszaki gyakorlatban elfogadott, kielégítő pontosságú meghatározására.

A fenti célkitűzéseket a következők szerint kívánom elérni:

- a KLUGE féle eljárás helytállóságának ellenőrzése modellkísérlettel – lemezcsíkhúzó vizsgálattal – különböző anyagminőségek esetén, változó húzó-, illetve fékezóborda-geometria és bordamagasság mellett,
- a módszer alapját képező matematikai modell pontosabbá tételére a elméleti megfontolások alapján a valós geometriai viszonyokat tükröző számítási összefüggések kidolgozása, ezek helyességének ellenőrzése mérésekkel,
- a modellkísérlettel, valamint a továbbfejlesztett, egyszerűsített számítási eljárással kapott értékek véges elemes szimulációval nyert eredményekkel történő összevetése,
- az elemzéssel nyert következtetések valós, különböző anyagminőségű acéllemezből húzott, szabályos, nem körszimmetrikus alkatrészekben történő mérések eredményeivel való alátámasztása.

2. Az alkalmazott elméleti és kísérleti módszerek

2.1. A szakirodalom áttekintése

A szerszám húzóélén elhelyezett húzóborda, illetve a ráncfogóba beépített fékezőborda által kifejtett, az anyagáramlást visszatartó erő a bordán áthaladó lemez többszöri hajlításához és visszahajlításához valamint a súrlódás legyőzéséhez szükséges erőkomponensek összege. A bordaerő meghatározására nagyszámú modell létezik. Valamennyi *Swift* 1948-ban, illetve *Nine* 1978-ban megjelent értekezésében közölt modellt fejleszti tovább.

Swift munkája a csapon áthúzott lemezcsík hajlításával és visszahajlításával foglalkozott. Megfigyelések és megfontolások alapján abból indult ki, hogy a lemez közvetlenül az érintkezési pontban vagy annak környezetében hajlik meg és hajlik vissza. A lemezgörbületet, valamint a lemezen létrejött alakváltozást és így az anyagban ébredő feszültséget is állandónak feltételezte. Számításainál lineárisan keményedő anyagmodellt használt. A teljes erőszükségletet a hajlítás és a visszahajlítás, valamint a súrlódás legyőzésére fordított erő eredőjeként adta meg.

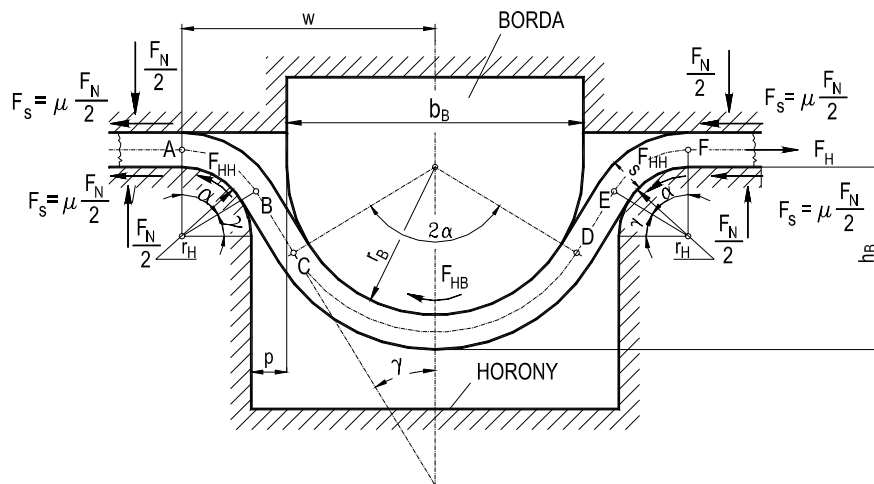
Nine értekezésében ismertetett kísérlet és a bordaerő mérésére kifejlesztett kísérleti berendezés a bordareakció matematikai modelljeinek ellenőrzésére, továbbá a bordán kialakuló súrlódási viszonyokat jellemző átlag súrlódási tényező meghatározására lehetőséget ad.

A bordaerő számítására készült modellek elsősorban abban különböznek, hogy milyen módszerrel és mely tényezők figyelembevételével határozzák meg a hajlítás illetve visszahajlítás erőszükségletét.

A munkák egy része a virtuális munka tétele alapján oldja meg a problémát. Más részük a görbületi középpontra felírt nyomatéki egyensúlyi egyenletből indul ki és számítja az erőszükségletet az egyenlet numerikus megoldásával, illetve az ismert analitikus megoldás felhasználásával. Az anyagtörvényt illetően az anyag viselkedését jellemző jelenségeket, a felkeményedést, a Bauschinger effektust, az anizotrópiát különböző módon és mértékben veszik figyelembe.

Az első, a bordaerő véges elemes módszerrel történő meghatározásáról 1996-ban megjelent publikáció, amely modellje a rugalmas – képlékeny nagy alakváltozások elméletén alapszik, továbbá figyelembe veszi a súrlódási viszonyokat a szimulált értékek és a *Nine*-féle kísérleti eredmények 20%-os eltéréséről számol be.

KLUGE módszerét, mely több elhanyagolással él, a szakirodalom a gyakorlatban jól használhatónak ítéli hiányosságaival együtt. A módszer a lemez alakítását teljes mértékben idealizálva veszi figyelembe. A modell az egyes pontokban fellépő hajlító és visszahajlító erő számításánál tiszta hajlítást feltételez. A külső nyomaték meghatározásánál a húzóerőt elhanyagolja. A húzóborda hornyán és a bordán azonos α átfogási szöggel számol. Az α átfogási szög a húzóbordageometria és a bordamélység függvénye. A súrlódást a kötelsúrlódásra érvényes összefüggés alapján veszi figyelembe. A hajlítási rádiusz minden esetben a borda, illetve a horony sugara.



A KLUGE-féle modell

A bordaerő számítására az alábbi képletet adja meg:

$$F_H = \left(\left[\left[\mu \cdot F_N + \frac{k_{fA} s^2}{4(r_H + \frac{s}{2})} \right] e^{\mu \alpha} + \frac{k_{fB} s^2}{4(r_H + \frac{s}{2})} + \frac{k_{fC} s^2}{4(r_B + \frac{s}{2})} \right] e^{\mu \cdot 2\alpha} + \frac{k_{fD} s^2}{4(r_B + \frac{s}{2})} + \frac{k_{fE} s^2}{4(r_H + \frac{s}{2})} \right) e^{\mu \cdot \alpha} + \frac{k_{fF} s^2}{4(r_H + \frac{s}{2})} + \mu F_N$$

Az elméletben meghatározott értékek a lemezcsíkhúzó vizsgálattal kapottaktól átlagban 20-30%-ban tértek el beleértve a kis bordamagasságnál mért eredményeket is.

KLUGE az elméleti és kísérleti értékek eltérésének részleges kiküszöbölésére a mérési eredmények alapján egy fél-empirikus összefüggést állított fel. Az egyenlet állandóit mélyhúzó acélra meg is határozta.

2.2.A KLUGE- féle módszer helyállóságának vizsgálata lemezcsíkhúzó vizsgálattal

A lemezcsíkhúzó vizsgálat a húzó- és fékezőbordán fellépő reakciók modellezésére alkalmas. A vizsgálat során adott méretű lemezcsík áthúzására kerül sor két párhuzamos szorítópofofa között, az F_N lemezt szorító (nyomó) és az F_H áthúzáshoz szükséges erő rögzítése mellett. A szorítópofákba szerelhető különböző geometriájú és állítható magasságú fékezőbordákkal az ipari gyakorlatban előforduló technológiai körülmények szimulálhatók.

A kitűzött cél érdekében a modellvizsgálatra acél- és különböző anyagminőségű alumínium lemezcsíkokkal került sor, különböző fékező-bordageometriával és bordamagassággal, adott geometriai paraméterek mellett 8 különböző F_N szorító erővel, a nyomást 2,5-12.0 N/mm²-es tartományban 8 fokozatban változtatva.

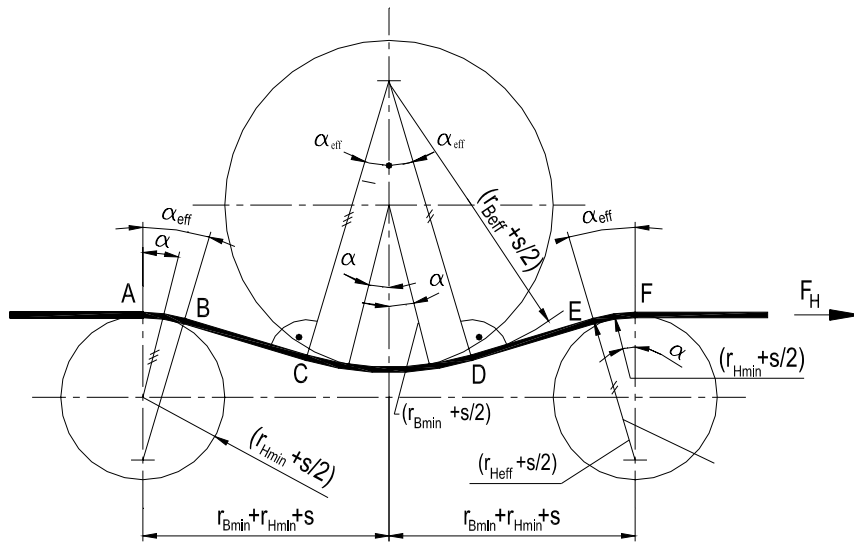
A mérési eredményeket a KLUGE-féle módszerrel számított értékekkel összehasonlítva az eljárást illetően megállapítható, hogy nagy bordamagasságok esetén kielégítő pontosságú, kis bordamagasságok esetén viszont elveszti érvényességét. A tényleges hajlítási sugarak ugyanis jelentős mértékben eltérnek a borda, illetve a horony rádiuszától, annál jóval nagyobbak.

2.3. Számítási módszer a valós geometriai viszonyokat tükröző hajlítási sugarak meghatározására

A KLUGE-féle idealizált modell a húzóborda lefutó és felfutó ágán feltételezi a teljes szimmetriát, továbbá azt is, hogy a lemez követi a borda és a horony rádiuszát, tehát a borda és a horony között a két rádiusz közös érintője által kijelölt egyenes szerint halad.

A KLUGE-féle módszer pontosítását célzó modellt a következő tulajdonságok jellemzik:

- szimmetria a fel- és lefutó oldalon,
- a lemez nem követi sem a borda, sem a horony sugarát, hanem azoknál nagyobb: $(r_{Beff} + s/2)$, illetve $(r_{Heff} + s/2)$ értékeket vesz fel,
- a borda és a horony között a lemez a fenti effektív sugarak közös érintőjének vonalában helyezkedik el,
- az így létrejövő elméleti α_{eff} átfogási szögek a bordán és a hornyon egyenlők.



A hajlítási sugarak közelítésére alkalmazott matematikai modell elve

A modell alapján, a valós viszonyokat tükröző hajlítási sugarak az, α_{min} minimális és az α' maximális átfogási szögek között elhelyezkedő α_{eff} közelítésével az alábbi összefüggések szerint számíthatók:

$$r_{Beff} = \frac{\operatorname{tg} \alpha_{eff} \left(\left(r_B + \frac{s}{2} \right) - \frac{s}{2} \operatorname{tg} \frac{\alpha_{eff}}{2} \right) - h}{\operatorname{tg} \alpha_{eff} \operatorname{tg} \frac{\alpha_{eff}}{2}},$$

$$r_{Heff} = \frac{\operatorname{tg} \alpha_{eff} \left(\left(r_H + \frac{s}{2} \right) - \frac{s}{2} \operatorname{tg} \frac{\alpha_{eff}}{2} \right) - (h_B - h)}{\operatorname{tg} \alpha_{eff} \operatorname{tg} \frac{\alpha_{eff}}{2}}.$$

2.4. A számítási összefüggések helyességének ellenőrzése

A valós viszonyokat tükröző hajlítási sugarak számítására javasolt összefüggések helytállóságának ellenőrzése a különböző geometriai feltételek mellett alakított lemezcsíkokon 3D kordinátamérő-géppel kimért hajlítási sugarak és a számított értékek összehasonlításával történt.

A számított és mért eredmények összevetése alapján mind acélra mind a kiválóan keményíthető alumíniumötvözetekre a következők állapíthatók meg:

- A valós geometriai viszonyokat tükröző számított hajlítási sugarak jól megegyeznek a borda oldalon mért tényleges rádiuszokkal. Adott bordamagasságnál a számított és mért értékek átlagos eltérése $\approx 8\%$.
- A horonyoldali lefutó ágon a számított és mért értékek közelítése még elfogadható ($\approx 12\%$ az átlagos eltérés). A lefutó oldalon a számított és mért értékek nagymértékben különböznek.

2.5. A lemezcsíkhúzó vizsgálat véges elemes szimulációja

A numerikus, a közelítő módszerrel kapott értékek és a mért eredmények összevetése

A modellvizsgálat végeselemes analízisére a képlékenyalakítási feladatok megoldására kifejlesztett "PAM-STAMP" programmal került sor. A véges elemes modell a szimmetria feltételek figyelembevételével készült. A hálót PAM' 98 téglatest elemek építették fel. A lemez és a merev szerszámfelület érintkezését kontaktelemelek modellezték. Az anyagmodell rugalmas-képlékeny volt. A számítási modell az anizotrópiát HILL első folyási feltételével vette figyelembe. A felületek közötti, a felületi nyomástól független konstansnak feltételezett súrlódási érték meghatározása az egyes lemezminőségek esetében egyszerű lemezcsíkhúzó vizsgálat (h_B=0) történt. A szimuláció r_H = 3 mm, r_B = 5 mm húzóborda geometriával, F_N = 4,0; 6,0 kN szorítóerővel futott.

A közelítő módszerrel a számítások EXCEL-ben készültek a valós geometriai viszonyokat tükröző hajlítási sugarakkal, a lemezvastagság csökkenésének figyelembe vétele nélkül. Az egyes hajlítási pontokban a közepes alakítási szilárdság meghatározása az anizotrópia hatását figyelembe véve, az összalakváltozás mértékének megfelelő tartományhoz tartozó 'n' keményedési kitevővel történt.

A végeselemes analízissel kapott, a közelítő módszerrel számított valamint a mért eredmények összehasonlítása alapján a következők állapíthatók meg.

- Acél esetén a valós geometriai viszonyokat tükröző hajlítási sugarakkal számított bordaerő, valamennyi magasságnál jó megegyezést mutat a véges elemes szimulációval kapott értékekkel. Az eredmények közötti eltérés minimum 2,2% maximum 7,2%.
- Az közelítő módszerrel számított illetve a végeselemes módszerrel numerikusan meghatározott bordaerő értékek mért eredményektől való eltérése mindkét esetben 20% alatt marad, továbbá a bordamagasság függvényében azonos tendenciát mutat.
- A felfutó és lefutó horonyágon megfigyelhető aszimmetria figyelembevétele a számított

és szimulációs értékek még jobb megegyezését eredményezi.

- A kiválóan keményedő alumíniumötvözetek esetében, amennyiben a számítás a lefutó oldalon a tényleges hajlítási sugárral történik, illetve ezt egy korrekciós tényező veszi figyelembe, úgy a véges elemes és a közelítő módszerrel kapott eredmények jól megegyeznek.

2.6. A közelítő módszer ellenőrzése különböző minőségű lemezanyagból készült mélyhúzott próbatestsorozaton

A mélyhúzott próbatestekkel végzett kísérletsorozat célja az volt, hogy ellenőrizzem használható-e a bordareakció számítására továbbfejlesztett közelítő módszer a technológiai folyamatok tervezésénél, a szerszámok kialakításánál, tehát a gyakorlatban. A próbatest sorozat egyes darabjainak kiképzésénél az volt a szempont, hogy a mérési eredmények alapján a mért és számított értékek összehasonlítása mellett legyen mód a bordavég fékezőborda-erőre gyakorolt hatásának vizsgálatára is. Az adott lemezanyag minőségéből készült próbatest-sorozat hat próbatest-típusból állt.

Az alakítási erőszükséglet F_B bélyegerő mérésére négy különböző anyagminőséggel, azonos szerszám geometria, ráncgátló nyomás, kenési viszonyok mellett különböző bordamagasságoknál került sor. Valamennyi teríték alakítása PY E 250 típusú hidraulikus présen 300x200 mm-es $r = 30\text{mm}$ saroklekerekítésű húzószerszámmal történt. A húzóbordák r_H horonyrádiusza 3mm a borda rádiusza 6 mm-es volt. A ráncgátló alsó és felső része közti távolságot, ami egyúttal meghatározta a fékezőborda magasságot, csavarokkal és rugókkal lehetett állítani.

A $h - F_B - \text{út} - \text{bélyegerő}$, illetve a $h - F_N - \text{út} - \text{ránctartó}$ erő diagramokat bélyegszáron, illetve a nyomótüskén elhelyezett nyúlásmérő-bélyeges erőmérőcellák, valamint induktív útdók rögzítették. A műveleti tartomány kijelölése kísérleti úton történt. A darabok mélyhúzásakor az alakítási sebesség, valamint a felületre felhordott kenőanyag mennyiség, megegyezett a lemezcsíkhúzó vizsgálatnál is használt értékkel.

A vizsgálati berendezésnél a szivattyú és a nyomásszabályzó szelepek nem biztosították az állandó nyomást, nyomástartó akkumulátor beépítésére viszont nem volt lehetőség. Az F_N ránctartó erő nagyságát mutató mérőóra követte a rendszer nyomásváltozását, illetve a nyúlásmérő-bélyeges erőmérőcellákkal mért valós értékeket a mérőrendszer rögzítette. A valós F_N ránctartó erő ismerete lehetőséget adott a számított F_B alakítóerő megfelelő korrekciójára, így a mért és számított értékek összevetésére, tehát az egyszerűsített közelítő módszer gyakorlati alkalmazhatóságának az ellenőrzésére.

A különböző anyagminőségű és alakú (különböző terítékből húzott) próbatesteken kimért tényleges hajlítási sugarak a borda felőli oldalon, valamint a horony felőli lefutó ágon valamennyi esetben jól közelítik a valós viszonyokat számított értékeket. A számított és a mért rádiuszok közötti eltérés a bordán átlagosan 10%, a horony felőli lefutó ágon pedig 5%. A lefutó ágon a nagy h_B bordamagasságoknál a valós viszonyokat tükröző és a tényleges sugarak közelítik egymást, míg a kis bordamagasságok esetében az eltérés nagy.

A mélyhúzott alkatrészek F_B alakítási erőszükségletének meghatározása számítással az úgynevezett analitikus módszer szerint történt, amelyre *Doege* és *Strakerjahn* tett javaslatot. A számított és mért eredmények összehasonlítása egyértelműen azt mutatja, amennyiben a fékezőbordaerő számítását a valós geometriai viszonyokat tükröző hajlítási sugarakkal végezzük, úgy a mért és számított eredmények jó megegyezést mutatnak kis bordamagasságok esetén is.

3. A dolgozat új tudományos eredményei

- Alkalmas modellt és számítási eljárást dolgoztam ki a bordaerő pontosabb meghatározására továbbfejlesztve a Kluge-által kidolgozott módszert.
- Modell kísérletekkel, valamint végeselemes számításokkal is igazoltam, hogy a kidolgozott számítási módszer kis relatív bordamagasság esetén is a valós geometriai viszonyokat írja le.
- Mélyhúzott alkatrészekkel végzett kísérletekkel is igazoltam, hogy a kidolgozott módszer mind acélok, mind a kiválóan keményedő alumínium- ötvözetekre alkalmazható.
- A kidolgozott modell és a számítási módszer gyakorlati körülmények között is megbízhatóan használható.

4. Az eredmények alkalmazásának lehetősége

A bordaerő meghatározására tetszőleges bordamagasságnál az ipari gyakorlat számára kielégítő pontosságú, ugyanakkor mindenki számára hozzáférhető alapszoftverrel kezelhető módszer segítséget nyújthat a gyártás- és szerszámtervezésben.

További lehetőségként megemlíthető, hogy a továbbfejlesztett modell a Budapesti Műszaki Egyetemen egy doktori munka keretein belül készült és a BME-SZIF közös TO23877 OTK kutatási pályázatában továbbfejlesztett lemezalakító technológiai tervezési program moduljaként is hasznosítható.

Bízom benne, hogy a jelen dolgozat hozzájárult a problémakör eddigi eredményeihez, a bordaerő meghatározást megkönnyíti a gyakorlati szakemberek számára is.

5. Irodalomjegyzék

A dolgozat témájához kapcsolódó irodalom

Doege, E., Groche, P., Huch, M., Tiefziehen-Streckziehen, in *Umformtechnik, Plastomechanik, und Werkstoffkunde*, Springer Verlag 1993., 889-921., 893-890.,

Pöhm, Gy., *Alkatrészgyártás acéllemezből*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1974., 90-132.,

Lange, K., *Handbook of Metal Forming*, Mc Graw Hill Book Company, New York, Hamburg 1985., Chapter 20.,

Strackerjahn, W., *Die Voraussage des Versagensfalls beim Tiefziehen rechteckiger Teile*, Dissertation, Universitaet Hannover 1982., 12-16.,

Xu, S., Bohn, M., Weinmann, W., Steuerbare Ziehsicken für Ziehwerkzeuge, (Drawbeads and their Potential as Active Elements in the the Contol of Stamping Operations) Siegert, K., *Neuere Entwicklungen in der Blechumformung* IFU Informationsgesellschaft Verlag 1998., 269-302.,

Xu, S., Bohn, M., Weinmann, W., Drawbeads in Sheet Metal Stamping – A Review, *Sheet Metal Stamping: Development Applications* Society of Automotive Engineers, 1997., 233-249.,

Nine, H.D., Drawbead Forces in Sheet Metal Forming, *Mechanics of Sheet Metal Forming*, Plenum Press, 1978., 179-211.,

Zharkov, V.A., *Theorie and Practice of Deep Drawing*, MEP (Mechanical Engineering Publications Limited) London 1995., 398-433.,

Wang, M.N., A Mathematical Model of Drawbead Forces in Sheet Metal Forming *Applied Metalworking*, Vol.2, No.3, 1982., 193-199.,

Levy, B.S., Development of a Predictive Model for Draw Bead Restraining Force Utilizing Work of Nine and Wang, *Applied Metalworking*, Vol.3, No.1, 1983., 38-44.,

Stoughton, T.B., Model of Drawbead Forces in Sheet Metal Forming *15. th. Biennial Congress of IDDRG*, Dearbom 1988., 205-215.,

Sanchez, J.R., Weinemann K.F., A general Computer Model for Plane Strain Sheet Flow and its Application to Flow between Circular Drawbeads, *15. th. Biennial Congress of IDDRG*, Dearbom 1988., 217-226.,

Chabrand, P., Dubois, F., Gelin, C., Modeling Drawbeads in Sheet Metal Forming *International. Journal Mechanical Science*, Vol.38., No.1., 59-77.,

Roll, K., Simulation von Blechumformprozessen auf der IBM-RS 6000 Rechneranwendung in der Umformtechnik IFU Informationsgesellschaft Verlag 1992., 29-55.,

Kluge,S., Spannungsüberlagerung durch Einsatz von Ziehstäben beim Umformen unregelmäßiger Blechteile

Blech Rohre Profile,Vol.39,No.2, 1992., 117-122.,

Kluge,S.,Zum Einfluß der Reibung beim Gesenkbiegen mit Niederhalter
Fertigungstechnik und Betrieb,Vol. 42., No. 3,1992.,80-84.,

Kluge,S.,*Technologische Untersuchungen zur praxisorientierten Aufbereitung von
Gesetzmaessigkeiten der Blechumformung –Der Kraft-und Arbeitsbedarf für das Umformen
unregelmässiger Blechteile*

Dissertation (B) Dresden 1989., 55-67.,

Hill,R., *The Mathematical Theory of Plasticity*,
Clarendon Press,Oxford, 1950.,

Dutschke,W., Über das Tiefziehen rechteckiger Teile
Werkstattstechnik, Vol.51,No.4,1961.,167-173.,

Siebel,E.,Pomp,A., Der Kraftverlauf beim Tiefziehen,
Eisenforschung,Vol.11,1929., 129-147.,

Bleck,W., Bode R.

Kaltgewalztes Feinblech für den Automobilbau

Thyssen Technische Berichte, 2.,1996.,167-176.,

Bode R.,Hartmann G.,Imlau, K.,Kothe, R.

Stahlfeinbleche für den Automobilbau

Die Bibliothek der Technik Band 202

Verlag Moderne Industrie, 2000.,

Bloeck M., Timm J.,Aluminium-Karosseriebleche der Legierungsfamilie AlMgSi
Aluminium Vol. 70.,No. 1-2.,1994., 87-93.,

Schey,J.A., A Critical Review of the Applicability of Tribotesters to Sheet Metalworking
Sheet Metal Stamping: Development Applications
Society of Automotive Engineers1997.,113-125.,

Frontzek H., Tribologische Untersuchungen an Blechwerkstoffen,
*Dissertation, TU Darmstadt*1990.,53-81.,

Frontzek,H., Einfluss ausgewählter Oberflächenschichten auf das Reib – und
Verschleissverhalten beim Tiefziehen von Aluminium und austenitischen Edeltaehlen, *Stahl
und Eisen*, Vol.106,No.17,1986., 31-36.,

Sztorozsev,M.;Popov,E., Grundlagen der Umformtechnik
VEB Verlag,1979., 251-276.,

Siebel,E., Der Niederhaltedruck bei Tiefziehen,
Stahl und Eisen, Vol. 74, No. 17,1954., 155-158.,

Hasch,V., Aufnahme und Beurteilung des Grenzformaenderungsschaubildes,
Industrie-Anzeiger, Essen, Vol.95, No.83, 1973., 1901-1904.,

Boór,F., *Bonyolult alakú lemezalkatrészek alakítási folyamatának modellezése és
Tervezése csúszóvonal-módszerrel*,
Egyetemi doktori értekezés, BME 1994., 79-82.,

Doege, E., Volkmann, C., Einfluss der Maschine auf das Tiefziehergebnis,
Fertigungstechnik, Vol. 67., No. 2., 1977., 73-77.,

Alp, O., Experimente zur Bestimmung des plastisch anisotropen Stoffverhaltens
Von Aluminium und Stahlblech, *VDI Düsseldorf*, Vol. 5., No. 67., 1982., 81-102.,

Eiden, S., *Untersuchung zum Zieh- Nachform- und Schneidverfahren hochfester Bleche
Im Fahrzeugbau*, Diplomarbeit, TU Aachen 1998., 15-21.,

A tézisekhez felhasznált publikációk

Kirchfeld, M., A Simplified Experimental Study to Determine Drawbead Restraining Force
MicroCAD'2000,

Kirchfeld, M., Geometrical Method for the Estimation of the effective Bending Radius to
KLUGE's Model
Gépészet 2000, Springer, 2000., 204-210.,

Kirchfeld, M., Modeling of Drawbead Forces in Sheet Metal Forming
*DAAAM INTERNATIONAL SYMPOSIUM, Intelligent Manufacturing and Automation 2000
OPATIJA*, 2000. 225-226.,

Kirchfeld, M., Húzóborða-fékezõerõ közelítõ számítása
Jármûvek, 47.ÉVF., 11-12.szám, 2000., 28-31.,

Kirchfeld, M., Húzóborða-fékezõerõ közelítõ számítása
OGÉT, Kolozsvár, 2001., 155-159.,