

A HYDROFORM ALAKÍTÁS MODELLEZÉSE

MODELLING OF HYDROFORM PROCESSES

Kovács Péter Zoltán*, Lukács Zsolt*

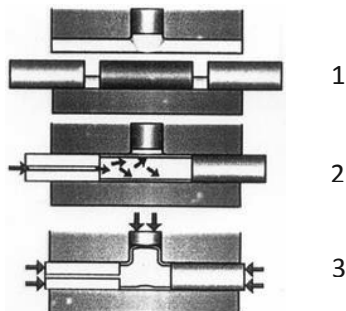
ABSTRACT

Hydroforming is a relatively new process, providing many new possibilities. Nowadays, there are intensive research works around the world to explore the potential and possibilities of Hydroforming, since this process has significant advantages compared to conventional forming processes. The sheet metal forming and tube forming are considered as the main application areas of HydroForm processes. In this paper, some experiences with the modelling of HydroForming processes will be overviewed.

1. BEVEZETÉS

Csőből készült szerkezetek HydroForm eljárással való alakítása olyan technológiai eljárás, amelynél az alakítónyomást jellemzően folyadék fejt ki az alakítandó munkadarab belső felületén. A cső alakváltozási folyamata a tengely irányú nyomóerő és a belső nyomás egyidejű hatására valósul meg. A munkadarab a folyamat végén felveszi az alakítószerszám alakját.

A csőszerű alkatrészeket jellemzően cső alakú előgyártmányból készítik belső nyomással. A belső nyomást az alkalmazott folyadéknak az alakítandó csőbe tengely irányban való bevezetésével biztosítják. Ezt az eljárást kezdetben kerékpárvázak készítéséhez használták. Az utóbbi időkben gépjármű alkatrészek gyártására is sikerrel alkalmazták, mivel az autókat alkotó alkatrészek számának, és tömegének csökkentése, valamint kedvezőbb tulajdonságú termékek előállítása valósítható meg ezzel az eljárással.



1. ábra. A HydroForm eljárás lépései

A Hydroform eljárás általában az 1. ábrán látható lépéseket tartalmazza:

- 1) Az előkészített nyersdarab szerszámba helyezése

- 2) A nyers idom két végének lezárása és a nyersdarab folyadékkal való feltöltése, nyomás alá helyezése
- 3) A munkadarab kialakítása a belső folyadéknyomás és az axiális terhelés együttes hatására.

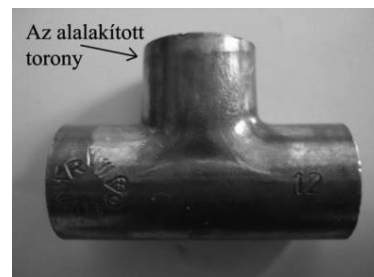
A csőalakítás HydroForm eljárással rendszerint előalakított, előkészített munkadarabot igényel. Ennek okai:

- A cső megfelelő illeszkedésének biztosítása az axiálisan, vagy radiálisan szétnyitható matrica alakjához.
- A kívánt forma megfelelő minőségű előállítás.

Az előmunkálatok különböző folyamatokból tevődnek össze, mint például hajlítás, darabolás, továbbá, e munkálatok után hőkezelés alkalmazása is szükséges lehet a keletkezett maradó feszültségek és az alakítási keményedés megszüntetése érdekében (feszültségcsökkentő hőkezelés).

2. A HYDROFORM ALAKÍTÁS KÍSÉRLETI VIZSGÁLATA

A HydroForm alakítással kapcsolatos elemzéseket, kísérleti vizsgálatokat félkemény (HB 60-90) vörösréz-ből készült T-idomokon, fittingeken (2. ábra), HydroForm alakításra szolgáló célberendezésen végeztük. Ezeket az alkatrészeket leggyakrabban különféle víz- és gázvezetékek építéskor alkalmazzák. Az ilyen kialakítású idomok megkönnyítik a vezetérendszer kialakítását.



2. ábra. T-idom

3. A HYDROFORM ALAKÍTÁS MODELLEZÉSI LEHETŐSÉGEINEK ÁTTEKINTÉSE

A HydroForm alakítás bonyolult folyamat, amelyet csak megfelelő tervezés és modellezés alkalmazásával lehet a kívánt minőségben gazdaságosan elvégezni.

A HydroForm alakítás egyre szélesebb körű alkalmazásával, egyre nagyobb szükség van a pontos és megbízható adatokat szolgáltatató modellezési eszközökre

*egyetemi adjunktus

Miskolci Egyetem, Mechanikai Technológiai Tanszék, 3515 Miskolc-Egyetemváros, honlap: <http://www.met.uni-miskolc.hu>

is. A legáltalánosabban alkalmazott számítógépes modellezési módszer a HydroForm csőalakítás esetében is a végeelemes modellezés. Számos erről szóló tanulmány készült, amelyek túlnyomórészt az anyagi és geometriai paramétereknek az alakítási folyamatra gyakorolt hatását vizsgálták. A modellezési és szimulációs eljárások ma már a HydroForm eljárás esetére is viszonylag pontosan képesek az alakváltozási folyamat, az alakítás technológiai jellemzőinek leírására.

A véges elemes módszer és különféle optimalizáló algoritmusok együttes használata megoldás a HydroForm eljárások optimális paramétereinek meghatározására: a véges elemes modellezés (továbbiakban FEM) alkalmas az eljárást meghatározó paraméterek hatásainak átfogó vizsgálatára is.

Az FEM nem csak a HydroForm alakító folyamat szimulációjára alkalmas, hanem a nyersdarabok előalakítási pontosságának, megbízhatóságának növelésére is használatosak. Mivel az előmunkálatok nagyban befolyásolják a HydroForm alakítás sikerességét, ezért ezek szimulációja is igen fontos.

A hajlítási folyamat - az előmunkálatok egyik gyakran alkalmazott szakasza, része - részletes reprodukciója által például nagyon jó szimulációs eredmények érhetők el. Ilyen következetes szimulációk segítségével a végső méretek, dimenziók 2% eltérési pontossággal számíthatók.

A numerikus módszert alkalmazó szimuláció eredménye, hogy képes a megvalósíthatóság ellenőrzésére, növeli a folyamat megbízhatóságát, lerövidíti az átfutási időt, csökkenti a szerszámra, szerszámozásra fordított költségeket, bővíti a technológiával kapcsolatos ismereteinket, javítja az elkészült alkatrész minőségét, stb.

A végeelemes modellezés egyik legfőbb előnye, hogy a folyamat virtuális kipróbálását teszi lehetővé költséges kísérletek nélkül, a tényleges megmunkálás előtt. Néhány elterjedt program, amelyek a HydroForm alakítási folyamat modellezésének elvégzésére is alkalmasak: LS-DYNA, ABAQUAS, AutoForm, DEFORM, MARC.

Jellegzetesen kétféle számítási módszert alkalmaz a véges elemes szimuláció, a dinamikus explicit, illetve a statikus implicit megközelítés. Mindkettő rendelkezik előnyökkel és hátrányokkal egyaránt. Az explicit módszer esetében a dinamikus hatások jelentős szereppel bírnak a véges elemes szimuláció eredményeit tekintve és nagyobb figyelmet kell fordítani a megfelelő időtartam és a tömeg megállapítására.

Koc, a FEM modellezést kiegészítő módszerként használva, a kis karbon tartalmú és rozsdamentes acél

csövek HydroForm alakítására csak belső nyomást alkalmazva elméletileg és kísérleti úton is meghatározta a feszültségi görbéket [3].

A FEM használatával a teljes eljárás modellezhető, beleértve az előalakításokat és magát a HydroForm eljárást is. Ezeket a tapasztalati eredményekkel összehasonlítva, a végeelemes modellezéssel jó eredmények születtek. A FEM alkalmazásával sikerült feltárni az olyan kritikus faktorok - mint a súrlódás, a kívánt minimális sugár, feszültség - hatását cső és lemez HydroForm alakítás esetében. A vizsgálatok azt igazolták, hogy mintegy 70%-os idő és költség megtakarítást lehet elérni a FEM modellezéssel a kísérleti próbálkozásokkal szemben. A végeelemes modellezések arra is ráirányították a figyelmet, hogy a HydroForm eljárás alakítási lehetőségeit döntően befolyásolják a korábbi alakító műveletek.

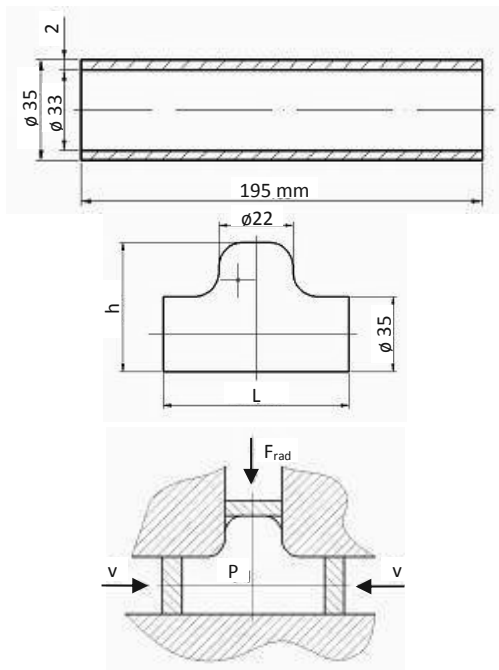
4. TECHNOLÓGIAI PARAMÉTEREK

Hagyományos sajtóláshoz viszonyítva, a cső HydroForm alakítási folyamata még viszonylag új, így még számos területen nem állnak rendelkezésre kiforrott tervezési eljárások. Ezért is kiemelkedően fontos a számítógépes modellezés, amely nagymértékben segíti a mérnököket megbízható tervezési és ellenőrzési stratégia kidolgozásában, így például a tengelyirányú eltolás, a belső nyomás, és az ellenőrző idő függvényének elemzésében, annak érdekében, hogy a HydroForm eljárásban rejlő alakítási lehetőségeket minél jobban hasznosítani tudjuk.

Mivel a HydroForm csőalakításban nagy nyomást alkalmaznak, a kísérletekhez edzett, nagyszilárdságú szerszámok szükségesek. A matricákat általában nagy keménységű, ötvözött szerszámacélból kell gyártani és gyakran különleges bevonatok alkalmazásával, amelyek jelentős költségeket eredményeznek. A HydroForm eljárással készített alkatrész kialakításánál a szerszámok kísérleti úton való kipróbálása és az esetleges hibák előfordulása, jelentősen csökkenthető, illetve számos esetben elkerülhető, az eljárás paramétereinek közötti kölcsönhatás jobb megértésével, a számítógépes modellezés használatával.

A következőkben bemutatjuk, hogyan lehet alkalmazni egy végeelemes szoftvert a HydroForm alakításra. A végeelemes elemzéseket a tanszékünkön hagyományos alakítási folyamatok modellezésére már gyakran alkalmazott DEFORM végeelemes programmal végeztük.

A modellezés során használt előgyártmány méreteit mutatja a 3. ábra.

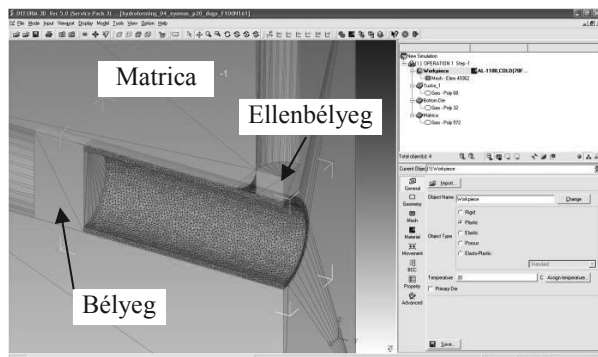


3. ábra. Az előgyártmány, a T-idom méretei és az alakítás modellezéséhez használt paraméterek

A folyamat paraméterek első becslései (például a belső nyomás, axiális előtolás, és ellennyomás) meghatározhatók analitikus számításokból, vagy számítógépes szimulációkból a fejlesztési idő csökkentése céljából.

Az általunk HydroForm modellezésre összeállított szimulációs modell (4. ábra) során az alábbi vizsgálati paramétereket alkalmaztuk:

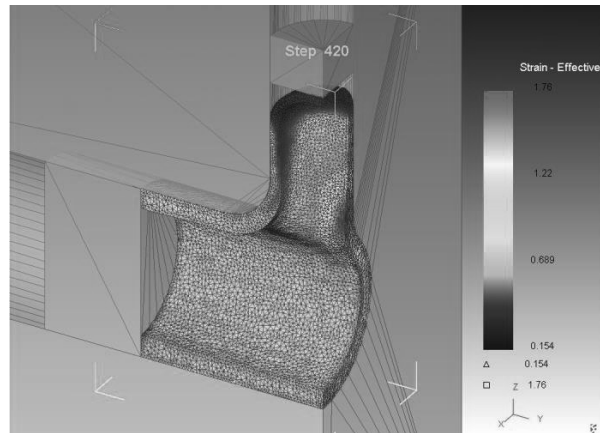
- Anyagminőség: Al-1100
- Belső nyomás: $p=200\text{MPa}$
- Alakítási sebesség: $v=1\text{ mm/s}$
- Ellennyomás: $F_{rad}=100\text{ N}$



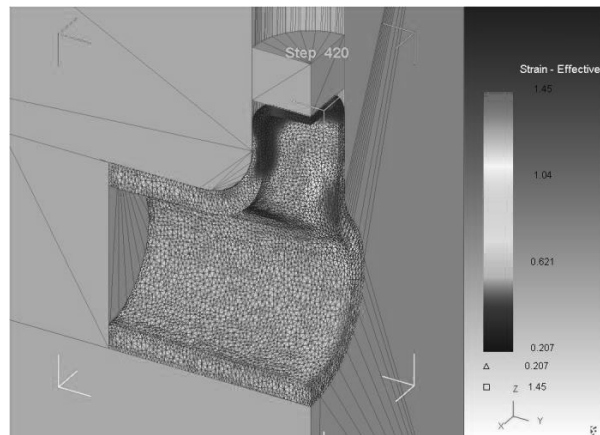
4. ábra. A DEFORM végeselemes szoftverben összeállított HydroForm szimulációs modell

A következő példákban azonos szerszámkialakítást alkalmazva, csak a radiális nyomóerő változtatásával vizsgáltuk az alakítást.

Az 5. ábrán 100N , a 6. ábrán 2000 N erőt alkalmaztunk egyébként azonos paraméterek és szerszámkialakítás mellett.



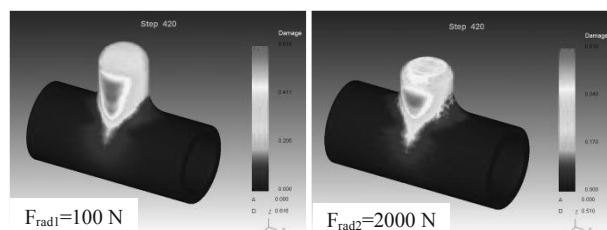
5. ábra. $P=200\text{MPa}$, $F_{rad1}=100\text{ N}$



6. ábra. $P=200\text{MPa}$, $F_{rad2}=2000\text{ N}$

A két különböző ellenerő alkalmazása során kialakult idomrész közül a nagyobb ellenerőt alkalmazva, az anyagáramlását korlátozva kedvezőbb falvastagság eloszlást hozhatunk létre, lokálisan kisebb képlékeny munkát viszünk be az alakítás során.

Ezt szemlélteti a 7. ábra különböző ellenerők alkalmazása során azonos alakítási mértéknél.

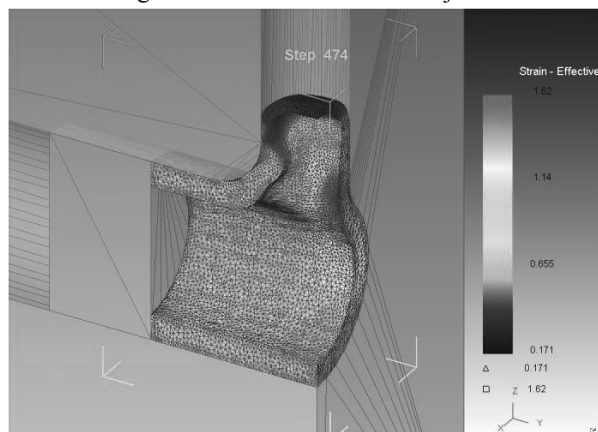


7. ábra. A munkadarabok károsodási képeit mutatja $F = 100\text{ N}$ és 2000 N esetén azonos alakítási lépésnél

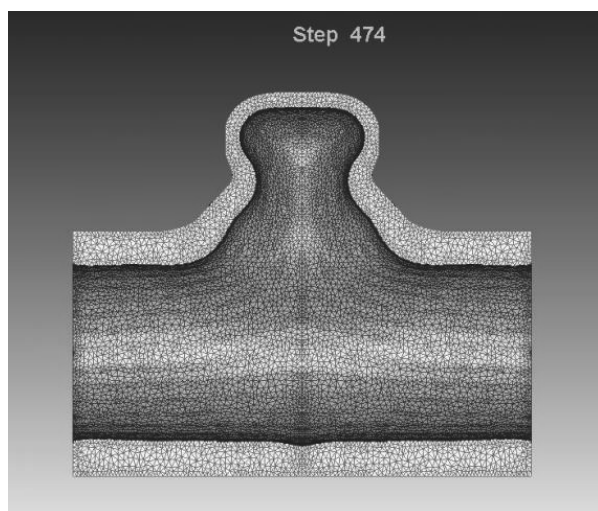
Ezekből az elemzésekből jól látható, hogy a modellezés során egy paraméter változtatásával milyen

jelentős eltérések hozhatók létre. A többi paramétert és egymásra való hatásukat is vizsgálva a valóságnak minél inkább megfelelő modell létrehozásával a szimulációnk nagy segítség lehet az alakítás megismerésében, illetve a szerszámok, paraméterek helyes kialakításában.

Az alakítási paraméterek helytelen megválasztása esetén az előgyártmányt tönkretelhetjük, amit a modellezéssel is bemutathatunk. A belső nyomás kedvezőtlen megváltoztatása, csökkentése utáni feszültség eloszlást mutatja a 8. ábra. A 9. ábrán a T-idom kedvezőtlen geometriai kialakulását láthatjuk.



8. ábra. Nem megfelelő nyomás alkalmazása esetén létrejött ráncosodott felület feszültség eloszlása



9. ábra. Nem megfelelő nyomás alkalmazása esetén létrejött ráncosodott felület geometriai alakzata

A különböző előfeltételezések (vastagságeloszlás, belső nyomás, szorítóerő, súrlódási erők, és visszarugózás), amelyeket a modellezési eljárás alakít ki, segít meghatározni bármely lehetséges alakítási hibát és repedést a tervezési fázisban és lehetővé teszi a tervezők számára, hogy fejlesszék a matricaformát mielőtt az edzett szerszámot legyártják.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A HydroForm lemez és csőalakítás során a munkadarabot nagy nyomású folyadékkal alakítjuk a kívánt geometriának megfelelő alakra. A HydroForm eljárás egyik legnagyobb előnye, hogy más alakítási eljárásokhoz viszonyítva lényegesen nagyobb alakváltozásokat tudunk megvalósítani, ezáltal kevesebb megmunkálási lépéssel érhetjük el a tervezett formát, ami egyben idő, energia és nem utolsósorban jelentős anyag megtakarítást is jelent. További előnye, hogy olyan összetett alkatrészek is előállíthatók ezzel az eljárással, amelyek számos esetben hagyományos módszerekkel nem is valósíthatók meg. A HydroForm eljárás során az anyag – a kedvező feszültségi állapotnak köszönhetően – lényegesen nagyobb alakíthatósággal rendelkezik, miközben az alakított munkadarab tulajdonságai is kedvezőbbek.

6. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Artinger Kator-Ziaja: Fémek technológiája, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1974.
- [2] M. Ahmetoglu, T. Altan: Tube HydroForming: state-of-the-art and future trends, Journal of Materials Processing Technology 98 (2000) 25-33
- [3] Muammer Koc, Taylan Altan: An overall review of the tube HydroForming (THF) technology, Journal of Materials Processing Technology 108 (2001) 384-393
- [4] L.M. Smith, N. Ganeshmurthy, P. Murty, C.C. Chen, T. Lim: Finite element modeling of the tubular HydroForming process Part 1. Strain rate-independent material model assumption, Journal of Materials Processing Technology 147 (2004) 121-130
- [5] Ch. Hartl: Research and advances in fundamentals and industrial applications of HydroForming, Journal of Materials Processing Technology 167 (2005) 383-392
- [6] J.C. Gelin, C. Labergère, S. Thibaud: Modelling and process control for the HydroForming of metallic liners used for hydrogen storage, Journal of Materials Processing Technology 177 (2006) 697-700
- [7] Gál G., Kiss A., Sárvári J., Tisza M.: Képlékeny hidralakítás, Tankönyvkiadó, Budapest, 2006. pp. 1-316.
- [8] Giuseppe Ingarao, Rosa Di Lorenzo, Fabrizio Micari: Internal pressure and counterpunch action design in Y-shaped tube HydroForming processes: A multi-objective optimisation approach, Computers and Structures 87 (2009) 591-602.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikkben ismertetett kutatómunka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 projekt részeként - az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében - az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.