XVI. FIATAL MŰSZAKIAK TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAKA

Kolozsvár, 2011. március 24–25.

ANYAGTUDOMÁNYI ÉS TECHNOLÓGIAI FEJLESZTÉSEK A KÉPLÉKENY LEMEZALAKÍTÁSBAN

dr. TISZA Miklós

Abstract

Metal Forming is one of the most dynamically developing fields among manufacturing technologies. The automotive industry may be regarded as the main field of metal forming applications. This is the main reason that most of the recent developments in metal forming are stimulated by the developments and the requirements of the automotive industry. These developments may be often characterised by contradictory requirements stated by the global competition such as more and more economical and user friendly vehicles together with the continuous increase of safety and comfort. Due to these challenges and the ever increasing demand new material classes have been developed: however, the more and more wide application of high strength materials meeting the requirements stated by the mass reduction lead to increasing difficulties concerning the formability which requires significant technological developments as well. In this paper, the recent materials science and technological developments will be overviewed from the point of view of the automotive industry.

Key words:

Materials science, technological developments, metal forming, automotive industry.

Összefoglalás

A képlékenyalakítás napjaink egyik legdinamikusabban fejlődő technológiai ágazata. E korszerű anyag- és energiatakarékos eljárás egyik fő alkalmazási területe az autópár, ezért nem véletlen, hogy az elmúlt években a képlékenyalakítás terén megvalósult fejlesztések jelentős részét az autópári fejlesztések ösztönözték, illetve határozták meg. Az elmúlt évtizedek autópári fejlesztéseit mind az alkalmazott anyagokat, mind pedig az új technológiai eljárásokat illetően alapvetően azok a folyamatosan növekvő követelmények határozták meg, amelyek a világméretű globális versenyben az autópár egészét érintették. E követelmények között egyre nagyobb szerepet játszanak gyakran egymásnak is ellentmondó olyan követelmények, amelyek gazdaságosabban üzemeltethető és minél inkább környezetbarát járművek fejlesztését irányozzák elő, egyidejűleg a biztonsági és kényelmi követelmények fokozódó törvényi előírásaival együtt. E versenynek és a fokozódó követelményeknek köszönhetően új anyagok különleges típusai láttak napvilágot: a tömegcsökkentési követelmény szempontjából kívánatos növelt szilárdságú anyagok alkalmazása azonban gyakran alakíthatósági problémákat vet fel és megmunkálásuk természetesen új technológiai megoldásokat is igényelnek és ösztönöznek. Az előadás a képlékenyalakítás anyagtudományi és technológiai fejlesztéseit tekinti át elsősorban az autópári alkalmazások szemszögéből.

Kulcsszavak:

Anyagtudományi, technológiai fejlesztés, képlékenyalakítás, autópári alkalmazás.

1. Bevezetés

A képlékenyalakítás a gépipari megmunkáló eljárások között az egyik leginkább anyag- és energiatakarékos eljárás. A képlékenyalakítás – különösen a lemezalakítás – egyik legfontosabb alkalmazási területe az autópár, így nyilvánvaló, hogy fejlesztésének is egyik motorja és meghatározója. Az autói-

pari fejlesztéseket számos, gyakran egymásnak is ellentmondó követelmények ösztönzik: a fejlesztést mindenek előtt a világméretű globális verseny és ezen belül is elsősorban a fogyasztói követelmények és a különböző törvényi előírások határozzák meg.

Fogyasztói oldalról a követelmények között a minél gazdaságosabban üzemeltethető, ugyanakkor minél biztonságosabb és minél magasabb szintű kényelmi funkciókat biztosító járművek iránti igény fogalmazódik meg. Ehhez járulnak még azok a törvényi előírások, amelyek a környezet védelme érdekében a gépjárművek káros anyag kibocsátásának egyre szigorodó követelményeit írják elő és ugyancsak számos törvényi szabályozás vonatkozik a személygépkocsikban utazók biztonságának növelésére. Ezek a fogyasztói igények és törvényi előírások részben összhangban vannak, részben olyan ellentmondásos követelményeket támasztanak, amelyek kielégítése gyakran komoly nehézségekbe ütközik, és amelyek az anyagtudományi és technológiai fejlesztések egyik fő hajtóerejét is jelentik [1].

Az előzőekben vázolt követelmények közül egyidejűleg több szempont kielégítésében is fontos szerepet játszik a személygépkocsik tömegének a csökkentése. A tömegcsökkentéssel egyrészt a kisebb fogyasztás, gazdaságosabb üzemeltetés fogyasztói követelménye, másrészt a kisebb fogyasztás révén a káros anyag kibocsátás törvényi mértékének kielégítése is elérhető. Ahhoz azonban, hogy az autók tömegének jelentős részét kitevő karosszéria elemek tömegét a biztonsági követelmények fokozódásának egyidejű teljesítése mellett megvalósíthassuk egyre nagyobb szilárdságú anyagok alkalmazására van szükség. A szilárdság növelésével azonban az anyagok alakíthatósága jellemzően csökken: ugyanakkor az alakíthatóság a karosszéria elemek gyártásának egyik kulcskérdése, tehát igen ellentmondásos követelmények között kell megfelelő egyensúlyt teremtenünk [2]. A következőkben ennek az ellentmondásos fejlesztési követelménynek a feloldását célzó anyagtudományi és technológiai fejlesztéseket tekintjük át röviden.

2. Az autóipari anyagtudományi fejlesztések főbb területei

A személyautók tömegének csökkentése számos nagy nemzetközi fejlesztési projekt középpontjában áll. A tömegcsökkentést már az autók tervezésénél, a különféle tervezési koncepciók megalkotásánál kell kezdeni: e területen az ún. könnyűsúlyú konstrukciók (széles körben elterjedt angol megnevezéssel *light weight construction*) alkalmazása jelenti a fő irányt. A tömegcsökkentés fő irányait anyagtudományi oldalról a különböző nagyszilárdságú acélok, a könnyűfémek (elsősorban az alumínium és a magnézium ötvözetek), valamint a különféle szálerősítéses polimer mátrixú kompozitok alkalmazása jelenti. Ezek a konstrukciós elvek alapvetően érintik az autókarosszéria tervezési koncepciót is, ugyanakkor az alkalmazott tervezési koncepciók jelentős mértékben függnak az autók kategóriájától és a gyártási volumentől is. Az autó karosszéria elemek gyártásában mind a mai napig a különféle acél-ötvözetek játsszák a fő szerepet. Az anyagfejlesztési eredmények hatását a különféle autóipari acél-ötvözetek mechanikai tulajdonságaira az 1. ábra szemlélteti [3].

Az ábrán jól látható az a jól ismert összefüggés, hogy a növekvő szilárdsággal az alakváltozóképeség monoton csökken, azaz miközben a tömegcsökkentés szempontjából lényeges szilárdsági jellemzők

1. ábra A szakítószilárdság – fajlagos nyúlás kapcsolata korszerű lemezanyagokra

dinamikusan növekednek, ezen anyagok alakíthatósága komoly technológiai problémákat vet fel. Azt is érdemes megfigyelni, hogy míg az ún. „klasszikus, nagy szilárdságú acélokra” a szakítószilárdság fajlagos nyúlás szorzata a $C=10,000$ konstanssal jellemezhető hiperbola mentén helyezkedik el, a TRIP acélok a $C=20,000$, míg a legutóbbi évek fejlesztését jelentő X-AHSS (Extra nagy szilárdságú) acélokra a $C=40,000$, az U-AHSS (Ultra nagy szilárdságú) acélokra a $C=60,000$ konstanssal jellemezhető hiperbola mentén található.

A nem-vas fémek közül az alumínium ötvözetek autóipari alkalmazásában figyelhető meg a legnagyobb fejlődés. Míg 1978-ban az egy autónál felhasznált alumínium átlagos mennyisége mindösszesen 32 kg és ezen belül az öntött alumínium aránya 90 % volt, ugyanakkor az alumínium átlagos mennyisége 2008-ban már 130 kg és az öntött és alakítható alumínium ötvözetek aránya lényegében megegyezik.

A tömegcsökkentést célzó autóipari anyagfejlesztések érdekes eredménye az a tanulmány autó, amelyet a 2. ábra mutat. A teherviselő elemek nagy szilárdságú acélból, míg a karosszéria számos eleme a tömegcsökkentés szempontjából nagy jelentőségű alumínium ötvözetekből készül.

3. Technológiai fejlesztések

Az új anyagok alkalmazása a gyártási-alakítási technológiában is lényeges változtatásokat, fejlesztéseket igényel. E fejlesztések megjelennek az autóipari innovációs lánc teljes folyamatában a lemez alapanyag gyártásától kezdve a tovább feldolgozáson, különféle kezeléseken keresztül a végső lemezmege-

2. ábra Több komponensű (multi-material) koncepció a tömegcsökkentés érdekében [4]

munkáló eljárásokig. Az előadás korlátozott terjedelme miatt ennek csak egy szűk szegmensére, nevezetesen a végső lemezmegmunkálásra vonatkozó néhány technológiai fejlesztés rövid bemutatására vállalkozhatunk.

3. ábra Integrált autóiipari termékfejlesztési koncepció [5]

A technológiai fejlesztéseknél is hangsúlyozni kell azonban, hogy eredményes fejlesztés csak a konstrukció, az anyagválasztás és a technológiai eljárás szinergikus egységével valósítható meg, amint azt a 3. ábra is mutatja [5].

Az autóiipari lemezalakítási fejlesztések közül mindenképpen kiemelésre kívánczik a lemezek hydroform alakítása (sheet hydroforming), a lézeres alakítás, a félmeleg- és a melegalakítás, a szuperképlékeny alakítás, az inkrementális lemezalakítás, a technológiai folyamatok átfogó számítógépes tervezése és modellezése, valamint a gyártás közbeni folyamatos monitoring és beavatkozás lehetősége. E

témakörök mindegyike önálló előadást igényelne, ezért közülük is csak néhány szemelvény bemutatására vállalkozhatunk.

3.1. Sheet HydroForming – Lemezek HydroForm alakítása

A HydroForm eljárás alapötlete abból a jól ismert alapelvből következik, hogy minél negatívabb az alakítás során a hidrosztatikus feszültségkomponens, annál nagyobb az anyagok alakváltozó képessége, következésképpen kevésbé alakítható anyagok is jobban alakíthatóvá válnak, illetve hagyományos módszerekkel nem, vagy csak több lépésben alakítható komplex munkadarabok is gyakran egyetlen lépésben készre alakíthatók. Az eljárás lényege röviden abban foglalható össze, hogy nagynyomású folyadékkal és egyidejűleg – az alakítás típusától függő irányú – alakító erővel, jelentős hidrosztatikus nyomással kényszerítjük az anyagot az alakot adó üreg kitöltésére.

Önhordó vázszerkezetek

Első-hátsó tartókeretek

Motor bölcső

Kipufogó rendszer elemek

Aljlemez

Csőszerű tartó elemek

4. ábra HydroForm eljárással gyártott autóiipari alkatrészek

A HydroForm eljárást széles körben alkalmazzák az autóiiparban egyszerű lemezalkatrészekről kezdve, bonyolult, összetett dupla falú lemezalkatrészek, teherbíró első- és hátsó vázszerkezetek, motortartó bölcsök, kipufogó rendszer elemek gyártására. A HydroForm alakító eljárás néhány autóiipari alkalmazására mutat példát a 4. ábra.

3.2. Nagyszilárdságú acélanyagok melegalakítása – A *Press hardening* eljárás

A HydroForm eljárás mellett napjaink egyik „sláger témája” az autóiipari lemezalakításban a különféle nagyszilárdságú acélok melegalakítása. Az autóiiparral szemben megfogalmazott fő követelmények között az egyre nagyobb követelményeket kielégítő töréstesztek is fontos szerepet töltenek be. A nagyszilárdságú anyagok csökkenő alakváltozó képességét hivatott kompenzálni egy olyan technológiai

fejlesztés, amelynek az alapjai valójában az anyagtudományi fejlesztés eredményeiben gyökereznek. Tipikusan autóiipari alkalmazásokra kifejlesztett nagyszilárdságú acél a 22MnB5 anyagjelű, bórral mikro-ötvözött acél, amely számottevő ötvöző mennyiséget csak mangánból tartalmaz ($Mn = 1,2-1,4\%$). A Mn mellett a mikro-ötvözött acéloknál megszokott minimális mennyiségben Al-Ti-Cr ötvözőket

5. ábra 22MnB5 acélból készült B-oszlop fényképe

találunk. A szállítási állapotban $R_{p0.2} = 300-350$ MPa folyási határral és kedvező alakváltozási jellemzőkkel ($A_{80} = 20\%$) rendelkező acélt austenites állapotban $T = 900-950^\circ\text{C}$ hőmérsékleten alakítva, az alakító szerszámban hűtik $v_h > 50$ °C/s hűtési sebességgel. Az alakítás és az azt követő gyors hűtés eredményeként nagyszilárdságú ($R_m > 1500$ MPa), stabil martenzites szövetszerkezetet kapunk. E különleges és kiváló tulajdonságokkal rendelkező acél tipikus autóiipari alkalmazási területe a különféle teherviselő autóelemek alakítása (az ún. A- és B-oszlop, oldalütközés védelmi megerősítések, karosszéria váz elemek, első- és hátsó kereszttartók, ajtó- és tetőpanel keretek). $s = 1,85$ mm lemezvastagságú anyagból ezzel az eljárással készített B-oszlopot mutat az 5. ábra.

3.3. Gyors prototípus gyártási technológiák a lemezalakításban

A gyors prototípus gyártás iránti igény az utóbbi évtizedekben számos területen került a kutatások homlokterébe. A gyors prototípus gyártás jellemzően az egyedi, illetve a kissorozat gyártás technológiája: az autóiipar – a jellemzően nagy volumenű, tömeggyártási igény miatt – alapvetően nem tartozik ebbe a kategóriába. Azonban az autóiiparban is vannak olyan területek, ahol ezeknek az eljárásoknak is van létjogosultsága, sőt egyértelműen fontos igényt elégítenek ki: Ez a terület az egyre szigorodó törésteszt elvégzése a fejlesztés minél korábbi szakaszában, amikor a szükséges változtatások még nem igényelnek a tömeggyártáshoz elkészített szerszámozást és berendezést. Erre a feladatra is alkalmas innovatív, új technológiák a szuperképlékeny alakítás és az inkrementális alakítás. Mind a két technológia alapvetően azáltal jelent gazdaságos alternatívát más eljárásokkal szemben, hogy nem, vagy alig igényelnek szerszámozást.

A 6. ábra a szuperképlékeny alakítás elvi megoldásának egy lehetőségét mutatja. Az alakítást rugalmas közeggel (gyakran levegővel, esetenként aktív védelmet biztosító védőgázzal) végzik az alakot csak az egyik oldalról meghatározó szerszámban. Az alakításhoz a szuperképlékenységi feltételeit kell biztosítani, azaz ultrafinom ($d_{\text{átl}} = 2-5$ μm) szemcseméretű, kétfázisú szövetszerkezet, szélsőségesen kis ($\dot{\varphi} \approx 10^{-4} - 10^{-5}$ s^{-1}) alakváltozási sebesség és nagy sebességérzékenység ($m > 0,5$) szükséges. E feltételek fennállása esetén szélsőségesen nagy alakváltozások (egy-ötven százaléknál 1000-1500 % nyúlás) törés, repedés nélkül megvalósítható, ezáltal rendkívül összetett munkadarabok is egy lépésben

1. ábra A superképlékeny alakítás elvi vázlata

hogy egy legalább 3 tengelyes CNC vezérléssel rendelkező univerzális marógépen is megvalósítható, így valóban minimális költséggel tudunk egészen bonyolult alakokat a hagyományos eljárásokhoz viszonyítva lényegesen nagyobb alakváltozással létrehozni. Az inkrementális lemezalakítás két gyakran alkalmazott alapesetét mutatja a 2. ábra [7].

7. Következtetések

Az előadásban a képlékeny lemezalakítás területén az utóbbi években tapasztalható fejlesztési törekvéseket tekintettük át. E fejlesztéseket elemezve egyértelműen megállapítható, hogy a fő hajtóerő az autóipar és az a világméretű verseny, amely az autóipari fejlesztéseket is alapvetően motiválja. A fejlesztések egymást kölcsönösen meghatározó két fő területe az alkalmazott anyagok és technológiák fejlesztése. Az elmúlt

évtizedekben számos olyan új anyag jelent meg, amelyek sikeres alkalmazása jelentős technológiai innovációt igényelt, és megfordítva olyan technológiai fejlesztések láttak napvilágot, amelyek új anyagok kifejlesztését, bevezetését tették szükségessé.

Köszönetnyilvánítás

Az előadásban ismertetett kutatómunka a PowerForm Európai projekt és az EUREKA_HU NKTH-projekt támogatásával készült. A projektek pénzügyi támogatását a szerző ezúton is megköszöni a Pro Factory Európai projekt ügynökségnek és a Nemzeti Kutatási és Technológiai Hivatalnak.

készre alakíthatók.

A rugalmas innovatív alakító eljárások egyik közelmúltbeli jelentős fejlesztési eredménye az inkrementális lemez-alakítás. Szemben a hagyományos képlékenyalakító eljárásokkal, amelyeknél a munkadarab alakját megfelelően kiképzett merev alakító bélyeggel és matricával határozzák meg, inkrementális alakításnál az alakot egy rendszerint gömbvégződéssel rendelkező alakító bélyeg matrica nélkül határozza meg. Az alakító bélyeget a munkadarab térbeli alakjának megfelelő pályán CNC vezérléssel mozgatjuk. Az eljárás nagy előnye,

2. ábra Egyponthos és kétpontos inkrementális lemezalakítás

Irodalom

- [1] KOPP, R., *Innovations in metal forming in the World*, Proc. of the 9th ICTP Conference, Gyeongju-Korea, 7-11. September 2008. pp. 7-24
- [2] TISZA, M., *Developments in Sheet Metal Forming for the Automotive Industry*, Proc. of ICME, Bratislava, 29-30. November 2007. pp. 171-178
- [3] CHUNG, J., KWON, O., *Development of high performance auto steels at Posco steels*, Proc. of the 9th ICTP Conference, Gyeongju-Korea, 7-11. September 2008. pp. 3-8
- [4] WALTL, H., VETTE, V., GRIESBACH, B., *Tool Making for Future Car Bodies*, Proc. of IDDRG 2007, Győr-Hungary, 21-23. May 2007. pp. 31-46
- [5] KOLLECK, R., FEINDT, J., LENZE, F.-J.: *Manufacturing methods for safety and structural body parts for light weight body design*, Proc. of IDDRG 2004, Sindelfingen-Germany, 24-26 May 2004. pp. 121-128
- [6] TURETTA, A., GHIOTTI, A., BRUSCHI, S.: *Investigation of 22MnB5 Mechanical and Phase Transformation at High Temperature*, Proc. of IDDRG 2007, Győr-Hungary, 21-23. May 2007. pp. 147-156
- [7] HAGAN, E., JESWIET, J.: *A review of conventional and modern single point sheet metal forming*, *IMECHE part B*, Journal of Eng. Manufacture, 2003. v. 217. pp. 213-225

Dr. Tisza Miklós, DSc, a műszaki tudomány doktora

Munkahely: Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Mechanikai Technológiai Tanszék

Cím: 3515 Miskolc-Egyetemváros

Telefon / Fax: +36 46 565 164

E-mail: tisza.miklos@uni-miskolc.hu