

AZ ALUMÍNIUMIPAR KÖZPONTI KUTATÁSI CÉLPROGRAMJÁNAK NÉHÁNY KÉRDÉSE

GILLEMOT LÁSZLÓ*

AZ MTA RENDES TAGJA

A tanulmány csak azokról az ötvözési és technológiai lehetőségekről kísérelt meg összefoglaló képet adni, amelyeknek a megalapozása a hazai tájékozódó kísérletekkel megtörtént és amelyeknek továbbfejlesztése az ipari alkalmazás szintjéig az 1990-ig tervezett kutatási programnak súlyponti kérdése lehet, nem hanyagolva el természetesen azt, hogy a kutatási célprogramban kitűzött, de itt nem tárgyalt fontos és lényeges kérdéseket akár a belföldi kutatómunkával, akár nemzetközi kooperációval, akár pedig licenc és know-how vásárlással minél előbb meg kell oldanunk.

I. Bevezetés

Magyarország számottevő mennyiségű bauxittal rendelkezik, amelynek nagyrésze közepes, illetve jóminőségű. Ezért hazánkban az alumíniumipar fejlesztése különlegesen fontos. Az Országos Távlati Tudományos Kutatási Tervben összesen 11 célprogramot emeltek országos szintre. Az alumíniumipar fejlesztésének fontosságára való tekintettel a 11 kiemelt kutatási célprogram egyike az alumíniumipar fejlesztésének kutatási célprogramja.

Az alumíniumipar hazai fontosságát az is szemlélteti, hogy az első magyar ipari kutatóintézet az 1948-ban megalapított Fémipari Kutató Intézet volt. Az intézet és az alumíniumipar vállalatai, valamint vállalati laboratóriumai között az alapítás óta eltelt több mint 25 év alatt igen jó együttműködés alakult ki. Ennek következtében az alumíniumipar 1990-ig kidolgozott hosszútávú kutatási célprogramja jól alkalmazkodik az iparfejlesztés célkitűzéseire. A kutatási célprogram tartalmazza mindazokat a kutatási feladatokat, amelyek az alumíniumipar tervezett fejlődéséből szükségszerűen következnek, de tartalmaz olyanokat is, amelyek az alaptudományok újabb eredményeit felhasználva visszahatnak az ipari fejlődésre. Ez a tanulmány csak néhány olyan problémát emel ki, amelyek a természettudományokra vagy műszaki alaptudományokra támaszkodva fogalmazhatók meg, és jelentős hatással lehetnek az ipar fejlődésére. Ezek közül is szerző csak a saját szűkebb kutatási területének, az alumínium és ötvözetek, félgyártmány-, illetve készgyártmány technológiájával kíván foglalkozni és csupán röviden, tájékoztató jelleggel kívánja megemlíteni a timföldgyártás és az alumíniumkohászat kutatásá-

* Prof. Dr. Gillemot, 1113 Budapest, Tarcali u. 2.

nak főbb irányvonalait. Ezeket is elsősorban csak azért, mert a fémalumínium minősége szükségszerűen kihat a félgyártmányok és a készgyártmányok minőségére is.

2. A timföldgyártás és az alumínium-előállítás néhány fontosabb feladata

A magyar bauxitkészletek jelentős része a 7-es és a 10-es modulus közé esik, kis része a 10-es modulusnál jobb. Ezek a bauxitminőségek a hagyományos Bayer-technológiával feldolgozhatók. Mivel a már ma is jelentős méretű magyar timföldgyártás alapvetően a Bayer-technológiára van beállítva, következik, hogy a timföldgyártással kapcsolatos kutatások főiránya alapvetően a Bayer-technológia egyes fázisainak további javítása lesz. Ezzel az általános célkitűzéssel kapcsolatban nagy szerepet fog játszani az egyes műveletek folyamatossá tétele és automatikus szabályozása. A gyengébb minőségű bauxitok feldolgozása érdekében pedig szükségessé válik az ún. kombinált eljárások kutatása. Bár mind a soros, mind a párhuzamos eljárások kutatásában az iparág jelentős eredményeket ért el, az optimális technológiát még tovább kell kutatni már csak azért is, mert a Bayer-féle timföldgyártás során keletkező nagymennyiségű vörösiszap feldolgozása nem csak a visszanyerhető értékes anyagok miatt, hanem környezetvédelmi szempontból is egyre nagyobb fontosságúvá fog válni.

Rendszeres és visszatérő feladatot jelentett és fog is jelenteni az újabb bányanyitásokból származó változó minőségű bauxitok optimális technológiájának a kidolgozása a már meglévő berendezések segítségével.

Az alumínium-elektrolízis területén a magyar ipar rendkívül jelentős haladást ért el. Az elmúlt évtizedek alatt az elektrolízis fajlagos energiafogyasztása a 15 000 kWó/tonna alumínium értékre csökkent le, ami világviszonylatban is kiváló eredmény. Az elektrolizáló kádak méretének és konstrukciójának további javításával a fajlagos energiafogyasztás tovább csökkenthető. Az alumínium-elektrolízissel kapcsolatos kutatásoknak egyik fő iránya a folyamatok automatizálása, a második pedig az elektrolízishez szükséges segédanyagok fogyasztásának csökkentése, illetőleg ezek hazai előállításának megteremtése.

Az itt felsorolt néhány kutatási feladat korántsem jelenti a kutatási célprogram ismertetését. A timföldgyártás kutatási feladatait alapvetően a bányászott bauxitok minősége és a már régóta működő Bayer rendszerű timföldgyárak, az elektrolízis feladatait pedig alapvetően az energiahelyzet szabja meg. Ezen két tényező és az elmúlt évtizedek tapasztalatai alapján a hagyományos Bayer-eljárás kiegészítése, illetve a hagyományos elektrolízis további javítása és az elért eredmények továbbfejlesztése lehet a fő feladat.

Az 1990-ig terjedő tervperióduson belül legfeljebb tájékoztató jellegű kísérleteket lehet folytatni ezektől alapvetően eltérő jellegű technológiákkal, amelyek közül csak példának említem a klórméttallurgia alkalmazását.

3. Az alumínium alkalmazásának elvi problémái

Magyarországon az egy főre eső alumíniumfogyasztás kerekén 10 kg/fő, ami több mint háromszorosa a világtátlagnak. Az egy főre eső alumíniumfogyasztás tekintetében Magyarország igen sok iparilag fejlett államot is megelőz. Már évtizedek óta volt a hazai kutatómunka célkitűzése az alumínium alkalmazása minden olyan területen, ahol az sajátságainál fogva előnyösen, vagy más fémek helyett (réz, cink stb.) ésszerűen és gazdaságosan alkalmazható. Az utóbbi évtized műanyagiparának fejlődése azt mutatta, hogy nagyon sok alkalmazási területen az alumíniumnak a műanyagok lesznek a versenytársai technológiai és gazdasági szempontból. Ez a helyzet jelenleg bizonytalanná vált a világszerte mutatkozó energiaválság nyomán. Az alumínium és műanyagok jövőjének és az ezzel kapcsolatos kutatási célkitűzéseknek a meghatározását igen nehézé teszi az, hogy a szénhidrogének ára az utóbbi időben olyan mértékben ingadozott, ami reális gazdasági kalkulációt pillanatnyilag nem tesz lehetővé. Az alumínium és a műanyagok jövőbeni fejlődését azonban kétségtelenül befolyásolja majd az, hogy bár az alumíniumgyártás és ezen belül főleg az alumínium elektrolízise energiaigényes iparág, ahol azonban pusztán gazdasági kérdés az, hogy az energia előállítása milyen úton történik (hőerőmű, vízierőmű, atomenergia), addig a műanyagok gazdaságos előállításánál a szénhidrogének a kiinduló alapanyagot képezik. Ezért a további kutatási feladatok tárgyalásakor szerző az alumínium és a műanyagok áralakulásának várható bizonytalansága miatt sehol nem fog kitérni az alumínium és a műanyagok összehasonlítására, hanem a továbbiakban kizárólag az alumínium félégyártmány és készárugyártás azon területeivel fog foglalkozni, amelyeken az alumínium alkalmazási lehetőségeit csak a többi fémes szerkezeti anyaggal, elsősorban az acéllal és az öntöttvassal kell összehasonlítani. Ahol ilyen összehasonlításra szükség van, ott is a műszaki adatok elemzésére fog szorítkozni, mert azt a kérdést, hogy valamely szerkezetben az acél vagy az alumínium alkalmazása az előnyösebb-e, nem teljesen a nyersanyagok árai, hanem a feldolgozási technológia költségei is döntően megszabják.

Az alkalmazás és felhasználás szempontjából az alumínium legfontosabb tulajdonságai a következők:

- jó villamosvezetőképesség,
 kis fajsúly,
- jó képlékenyalakíthatóság,
- jó önthetőség,
- viszonylag jó korrózióállóság.

Ezek a sajátságokon alapuló alkalmazási lehetőségek illetőleg gyártási technológiák közül szerző csak azokat fogja itt tárgyalni, amelyek valamilyen új utat jelentenek, és kutatásuk még nem haladta meg a laboratóriumi vagy félüzemi kutatások kereteit. Mivel kizárólag fejlődőben levő technológiákat és alkalmazási lehetőségeket fog tárgyalni, a felvetett témák nagy számára való tekintettel mellőzi a vonatkozó szakirodalom részletes felsorolását, mert a kutatási lehetőségekről és irányokról csupán egy átfogó képet szeretne vázolni anélkül, hogy ezeket a következőkben tudományos pontossággal tárgyalná.

4. Az alumínium villamos-vezetőképességén alapuló kutatások

Az ezüst és a réz után az alumínium vezetőképessége a legjobb. Ez a körülmény szabja meg széleskörű felhasználását a villamosiparban. 1973-ban az összes alumíniummennyiség 28,8%-át a villamosipar használta fel.

A tisztafém vezetőképessége jelenlegi ismereteink szerint ötvözéssel nem javítható, így a vezetőképesség javítására legfeljebb olyan mikroötvöző elemek jöhetnek szóba, amelyek más, a vezetőképességet erősen rontó ötvöző illetve szennyező elemeket olyan formában kötnek le, amelynek hatására a vezetőképesség javul. Ilyen célokra a magyar ipar már régen használja a bórral való ötvözést. Ettől eltekintve a vezetőképesség növelésének az útja a szennyezők mennyiségének csökkentése, ezért a problémakör inkább a timföldgyártás és az alumínium-elektrolízis feladatkörébe tartozik. Bár a fémalumínium vezetőképessége a legjobb, szilárdsága kicsiny, ezért a nagyfeszültségű távvezetékek céljaira — ahol a vezetőképesség mellett a szilárdság is szerepet játszik — acél-alumínium sodronyok vagy ötvözött alumínium huzalok alkalmazása a célszerű. A jó vezetőképesség és megfelelő szilárdság együttes követelményeinek az Al—Mg—Si ötvözésű vezetékvezetékek felelnek meg leginkább. Ezek tulajdonságait hosszú évek kutatómunkájával a magyar iparnak sikerült olyan színvonalúra fejlesztenie, hogy a hazai ötvözött vezetékvezetékek az ismert legszigorúbb követelményeknek is megfelelnek.

Az alumínium vezetékek gyártástechnológiájában tehát a közeli feladat a kiinduló fém minőségének további javítása, valamint a már folyamatban levő öntve-hengerlési kísérletek folytatása a durva huzalok előállítására, és az egyenletes homogén minőségek biztosítása.

Távolabbi célkitűzés lehet a huzalok gyártástechnológiájának alapvető megváltoztatása, amely azonban abból a szempontból erősen megfontolandó, hogy jelentős kutatási költségekkel jár. A huzalgyártás fejlesztésének egyik ma már félüzemi kísérletek alapján is bizonyított lehetősége az ún. hidrosztatikus sajtolás. A hidrosztatikus sajtolásnál a kisajtolandó anyagot egy nagyszilárdságú hengerből 10 000 atmoszféra nagyságrendben mozgó folyadék nyomásával sajtolják ki a hengerbe épített szerszámon keresztül.

Az egy lépésben elérhető keresztmetszetszökkenés a 10^3 nagyságrendben mozog, tehát sok nagyságrenddel nagyobb, mint a huzalhúzás során egy számban elérhető keresztmetszetszökkenés. Emiatt úgy látszik, hogy a hidrosztatikus sajtolás különlegesen alkalmas az alumíniumhuzalok gyártására. Megfontolandó azonban az, hogy jelenleg a hidrosztatikus sajtolást még folyamatos műveletként nem lehet alkalmazni, továbbá, hogy az alkalmazandó nagy nyomások miatt a hidrosztatikus sajtoláshoz szükséges berendezések költségesek.

Járhatóbb útnak látszik a huzalgépjártásban a hidrosztatikus sajtolás és a hagyományos huzalhúzás kombinációja. Számolni kell azonban azzal, hogy az ehhez szükséges kísérleti berendezések megépítése is jelentős költségekkel jár.

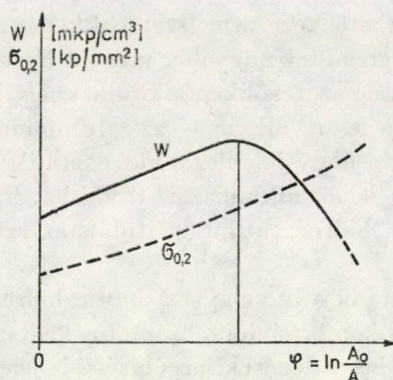
Az alumíniumhuzalok alkalmazásának jelentős kiszélesítését jelentené a forraszthatóság jó és gazdaságos megoldása. Ennek egyik útja az ultraszónikus forrasztás, másik lehetséges útja pedig a jól forrasztható fémmel borított huzalok előállítás.

5 Az alumínium szilárdsági és technológiai tulajdonságaitól függő alkalmazási területek kutatási problémái

Az alumínium alkalmazását gépekben vagy szerkezetekben illetve az építészetben az ötvözet szilárdsága, korrózióállósága, illetőleg gyártási technológiája külön-külön vagy együttesen határozza meg. A felsorolt szempontok szerint az alumíniumot és ötvözeit elsősorban az acéllal és vasötvözetekkel kell összehasonlítani és ennek az összehasonlításnak az alapján lehet a technológiai kutatások célját meghatározni. Mindezen megfontolásoknál természetesen nagy szerepet játszik az, hogy az alumínium fajsúlya lényegesen kisebb, mint az acélké, tehát az összehasonlítás során mindig a szilárdsági mérőszám/fajsúly viszonyt kell figyelembe venni.

A ma használatos alumíniumötvözetek szakítószilárdsága hozzávetőleg megegyezik a kevésbé ötvözött lágyacélok szilárdságával, a nemesíthető acélok szilárdsága ennek több mint kétszerese, a legújabban kifejlesztett ún. maraging acélok szilárdsága pedig a ma használt alumíniumötvözetek szilárdságának 4–5-szörösét is eléri. A pusztán szilárdsági mérőszámok összehasonlításán túlmenően azonban mindig figyelembe kell venni a feldolgozási technológia által adott lehetőségeket is. Az azonban nem kétséges, hogy a szerkezetekben alkalmazandó alumínium ötvözetek szilárdságát a jelenlegihez képest növelni kell ahhoz, hogy az alumíniumötvözetek alkalmazása az acél alkalmazásával szemben egyes területeken műszaki előnyökre vezessen.

Egy anyag minőségének megítélésére már igen régóta alkalmazzuk a *fajlagos törési munkát* [1]. A fajlagos törési munka a repedés keletkezéséig a térfogategységben elnyelt munka. A fajlagos törési munkáról sikerült kimu-



1. ábra. Hidegen alakított fémek vagy ötvözetek fajlagos törési munkájának, valamint folyási határának ($\sigma_{0,2}$) változása a hidegalakítás függvényében

tatni azt, hogy a terjedő repedés megjelenésének kritériuma és független az igénybevétel módjától [2]. A fajlagos törési munka egyszerű szakítókérséletről meghatározható és nem egyéb, mint a valódi feszültség — valódi nyúlás léptékben ábrázolt szakítódiagram területe, tehát olyan mérőszám, amely a szilárdságot és az anyag nyúlását jellemző tényezők szorzata. Az eddigi kutatásaink során a fajlagos törési munka következő sajátosságait állapítottuk meg:

1. szilárdoldatot alkotó elemekkel való ötvözésnél a fajlagos törési munka folyamatosan nő;
2. szemcsehatármenti kiválások a fajlagos törési munka értékét csökkentik;
3. az alumíniumötvözetek nemesítő hőkezelése során keletkező kiválások a fajlagos törési munka értékét csökkentik;
4. a hidegalakítás során a fajlagos törési munka értéke egy darabig nő az alakítás mértékének függvényében, egy bizonyos pont után ismét csökken (1. ábra). Az ábra vízszintes tengelyén a keresztmetszetváltozás mértéke van felmérve, a függélyes tengelyen pedig a fajlagos törési munka, illetőleg a folyáshatárnak megfelelő feszültség ($\sigma_{0,2}$). Az ábra csupán vázlat, mert nem egy meghatározott ötvözetre vonatkozik, hanem elvileg kívánja szemléltetni a hidegalakítás hatását a fajlagos törési munkára, illetőleg a folyáshatárra.

A fenti — már eddig is bizonyított — tételeket figyelembe véve, az alumíniumötvözetek szilárdságnövelésének útjai is elég pontosan kijelölhetők. Mivel az alumíniumnak más fémekkel alkotott kétalkotós ötvözeteti ismertek, ezek közül tágabb határok között szilárd oldat csak az Al—Mg, illetve Al—Zn ötvözetsorban képződik. Pusztán szilárd oldatot eredményező ötvözéssel tehát az ismertnél sokkal nagyobb szilárdságnövekedés nem várható, a további szilárdságnövekedést hidegalakítással kell elérni az 1. ábrán bemutatott elvi diagram figyelembevételével, ahol a szerkezeti célokra megkövetelt jó szilárd-

sági tulajdonságokat jó képlékenységi tulajdonságokkal együtt abban a pontban lehet elérni, ahol a fajlagos törési munka értéke a hidegalakítás során a legnagyobb.

A nemesíthető ötvözeteknek hidegalakítással való szilárdságnövelése szintén következik a fajlagos törési munka alapján felállított tézisekből. A nemesíthető ötvözetek hőkezelésének első lépése az ötvözőelem (vagy ötvözőelemek) oldódását előidéző hőmérsékletre való hevítést követő gyors hűtés. Következésképpen az így keletkezett szilárd oldat hidegkialakítása után kell a kiválásokat (Guinier—Preston zónákat) előidéző öregítő hőkezelést alkalmazni. A gondolatmenetből következik, hogy a ma ismert ötvözetek szilárdságnövelésének egyik kézenfekvő útja a hidegalakítás. Ez természetesen nem zárja ki azt, hogy eddig nem ismert újabb ötvözetek és a hidegalakításnak már itt ismertetett kombinációja még további szilárdságnövekedésre vezethet. A folyáshatár növelésének lehetőségeit az irodalmi adatok alapján PROHÁSZKA János [3] foglalta össze, ezért azokra jelen tanulmány nem tér ki. A fémfizikai megfontolások is teljes mértékben alátámasztják azokat az előbbi rövid megfontolásokat, amelyek szerint a legnagyobb folyáshatár növekedés a hidegalakítás hatására várható.

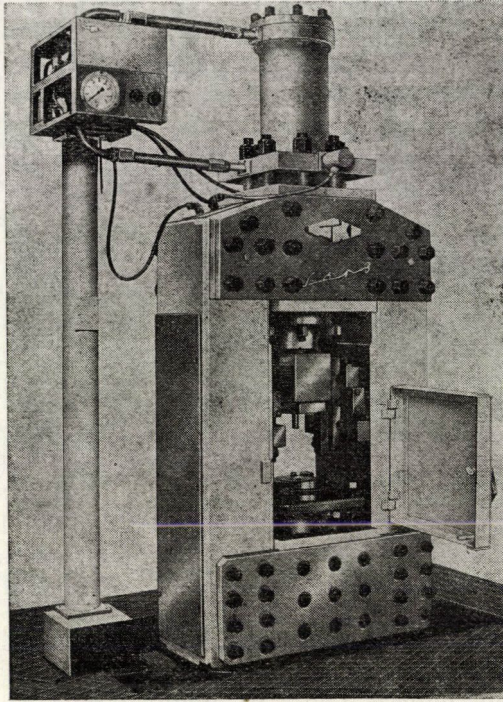
A fajlagos törési munkán alapuló megfontolások azonban az ötvözetek fejlesztésére további támpontot is adnak. A tisztafém fajlagos törési munkája (50 mkp/cm^3) nagyobb, mint a 99,5%-os kohófémmel fajlagos törési munkája ($30 \div 40 \text{ mkp/cm}^3$). Következésképpen a nagy tisztaságú alapanyagból készülő ötvözetekkel elérhető szilárdságnövelés a már ismertetett utakon tovább javíthatja az ötvözetek szilárdságát.

Mivel a fenti gondolatmenet szerint a szilárdságnövelés egyik módszere mindig a hidegalakítás, a további tárgyalás szempontjából széjjel kell választani a lemezből vagy idomdarabból készült szerkezetek és a térfogatalakítással készült munkadarabok gyártási technológiáját.

5.1 Alumínium ötvözetű kovácsdarabok és porkohászati testek előállítása

Bármilyen képlékeny alakító művelet (kovácsolás, sajtolás stb.) munkaszükségletének vagy az alakításhoz szükséges erőknél a kiszámítására vonatkozó képletek mindig olyan jellegűek, hogy az anyag alakítási szilárdsága azokban a képletben egyszerű szorzóként szerepel, a szorzat második tagja pedig a munkadarab geometriájától függ és tartalmazza a szerszám és az anyag között fellépő súrlódás tényezőjét is. Az alumínium és ötvözeiteinek alakítási szilárdsága a hőmérséklet növekedésével csökken, tehát az alakítás erőszükséglete, illetve munkaszükséglete nagyobb hőmérsékleten kisebb, mivel az alakítási szilárdság csökken. Figyelembe véve azonban a felhevítéshez szükséges hőmennyiséget is, a melegalakítás energiafogyasztása két részből áll:

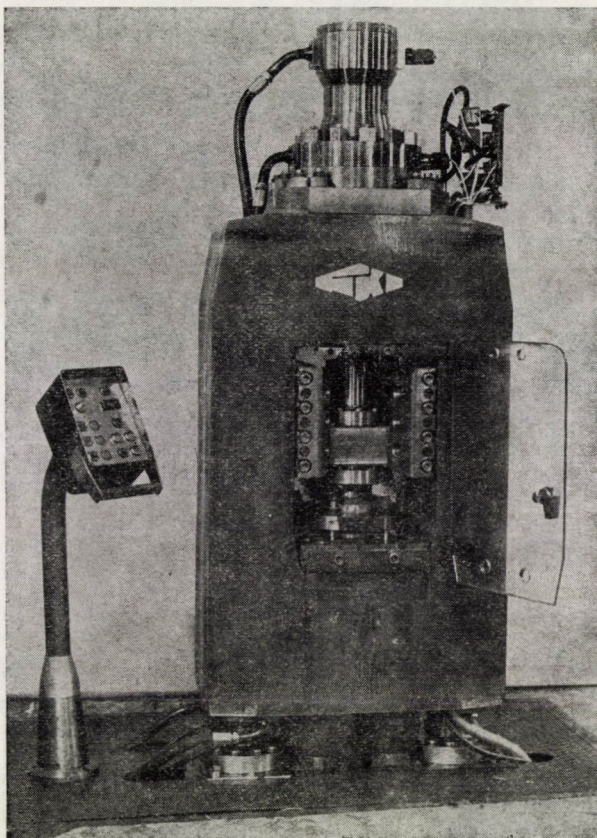
- a hevítés energiaszükségletéből és
- az alakítás energiaszükségletéből.



2. ábra. 6 tm-es nagysebességű ütőmű

Bár a vonatkozó adatok ötvözet típusonként változnak, mégis igen egyszerű számítással kimutatható az, hogy a hidegalakítás összes energiaszükséglete általában mindig kisebb, mint a melegalakítás energiaszükséglete. Következésképpen az alumínium és ötvözeteinek hidegalakítása energiafogyasztás szempontjából biztosan gazdaságosabb, mint a melegalakítása, elmarad ugyanis a kovácsolási vagy sajtolási hőmérsékletre való hevítés. További előnyt jelent az, hogy a hidegalakításnál a súrlódási tényező jóval kisebb, mint a melegkialakításnál. Kétségtelen tény azonban az, hogy a hidegalakításnál az alakítási szilárdság nyilván $4 \div 5$ -ször nagyobb, mint az alakítási szilárdság értéke a melegalakítás szokásos hőmérsékletén. Következésképpen a hidegalakító berendezések mérete, súlya és beruházási költsége is közel ilyen arányban nagyobb, mint a melegalakításhoz használt berendezéseké.

Figyelembe véve a hidegalakítás által nyújtott előnyöket és lehetőségeket, szinte szükségszerűvé vált hogy éppen a Fémipari Kutató Intézetben hozzunk létre olyan berendezéseket, amelyek lehetővé teszik az alumínium és ötvözeteinek kovácsolását hideg állapotban, egyidejűleg biztosítva a nagy méretpontosságot és a hidegalakítás által elérhető szilárdságnövekedést. Ezért a Fémipari Kutató Intézet szerkesztőivel már az 1960-as évek közepén kifejlesztettük a nagysebességű ütőműveknek több típusát, amelyek közül a



3. ábra. 2,5 tm-es nagysebességű ütőmű

2,5 tm-es és a 6 tm-es gép működik rendszeresen a Fémipari Kutató Intézetben, illetve a Budapesti Műszaki Egyetem Mechanikai Technológiai Intézetében (2., 3. ábrák) [4, 5, 6, 7].

A nagysebességű ütőművek ütési sebessége mintegy 25 m/sec, ami lehetővé tette a gépsúly csökkentését. A 6 tm-es típus önsúlya mindössze 6000 kp, a gép által kifejtett erő maximuma pedig kereken 1000 tonna. Ezeknél a gépeknél a teljesítmény mkp-ban kifejezve, viszonyítva a gép súlyához kb. 1, míg a hagyományos gépeknél ugyanilyen erőhatás, illetve ütési teljesítmény kifejtéséhez 5 ÷ 6-szor nagyobb gépsúly szükséges. A nagysebességű ütőmű tehát ugyanolyan gépsúly mellett képes hidegalakításra, mint amilyen súlyú gép szükséges a hagyományos típusok közül a melegalakításra.

A nagysebességű ütőművekkel a Fémipari Kutató Intézet és a Budapesti Műszaki Egyetem Mechanikai Technológiai Intézete több tízezer darabra terjedő kovácsolt alumíniumdarabot gyártott már eddig is. Természetesen a berendezések alkalmasak acélalkatrészek kovácsolására is.

Mind az elméleti megfontolások, mind az eddig szerzett tapasztalat a következőket mutatja: a nagy sebesség következtében a súrlódási tényező csökken, a fellépő dinamikus erőhatások elősegítik a forma kitöltését, és, mivel az ütés rendkívül gyors, az alakítás egy századmásodpercen belül történik, az alakítás folyamata adiabatikusnak tekinthető. Ennek folytán a munkadarab hőmérséklete az ütés során növekszik. Mindez arra vezet, hogy a formakitöltés igen jó és éppen ezért sorjakiképzésre általában nincsen szükség. A kiinduló darab súlya és a készre kovácsolt darab közt a különbség tehát igen kicsiny. Adva van tehát a továbbiakban a nagyszilárdságú kovácsdarabok előállításának útja, amely szerint a kiinduló darab szilárdoldat típusú ötvözet, ez a nagysebességű ütművel hidegen alakítandó, majd utána ha az ötvözet nemesíthető, természetes vagy mesterséges öregítéssel éri el végső szilárdságát. A kísérleteket először a már ismert ötvözet típusokon célszerű lefolytatni, esetleg, felhasználva azt az elvet is, hogy a nagy tisztaságú fémből készített ötvözetek fajlagos törési munkája kedvezőbb. Amennyiben az ötvözet nemesíthető, úgy a hidegalakítás után következhetik az ötvözet öregítése.

Az itt leírt technológia a már meglévő gépeken is alkalmazható, sőt mivel a gépekbe hűtőberendezés is beépíthető, szóbajöhet olyan technológia is, amelynél az alakítás arról a hőfokról történik, amelyen a nemesíthető ötvözet szilárdoldatot alkot, tehát az alakítás meleg, és az alakítással közvetlen egy időben történik az ötvözet hirtelen hűtése.

Végül, de nem utoljára megemlítendő az, hogy a nagysebességű alakító gépek adnak lehetőséget az öntvénykovácsolási technológia kutatására. Azt, hogy az öntvények tulajdonságai lényegesen javíthatók az öntvény melegalakításával, már PIWOWARSKY kimutatta a második világháború előtt. Az öntvények alakításának azonban legfőbb nehézsége az, hogy a formakitöltés miatt szükséges vékony sorja a kovácsolás során rendszerint megreped. A nagysebességű alakító gépeknél — mint azt az előzőekben kifejtettük — jól szerkesztett szerszámban a sorja elhanyagolhatóan kicsiny lehet és úgy lehet elhelyezni, hogy esetleges repedése esetén se terjedjen a repedés a kovácsdarabba. Öntvénykovácsolási kísérleteket egyelőre tájékozódó jelleggel öntött szilumin ötvözet előrefolyatásával végeztünk pusztán a lehetőségek felmérésére. Az a közel 12% Si, 0,5% Mg tartalmú öntvény, amely kokillaöntésben az átmérő ötszörösének megfelelő mérőhosszon mérve mindössze $1 \div 2\%$ nyúlást eredményez, nagysebességű előrefolyatás után $10 \div 18\%$ nyúlást adott. A kísérletek során a kovácsolást 430 °C-on végeztük, az öntött ötvözet keresztmetszete 2,7 : 1 arányban is redukálható volt. Ezen tájékoztató előkísérletek arra mutatnak, hogy alumínium gépalkatrészek gyártásánál nagyjelentőségű lehet az öntvénykovácsolás nemcsak azért, mert az ismert önthető ötvözetek sajátosságait javítja és igen nagy pontosságú alkatrészek elkészítését teszi lehetővé, hanem azért is, mert kifejleszhető olyan technológia is, amelynél a kiinduló anyag nagyszilárdságú ötvözetből készített, a végső kovácsdarab alakját

csupán megközelítő olyan ötvény, amelynek végső alakítása a megkívánt alakra melegalakítással történik.

Bár a jelenlegi gépek az ötvénykovácsolási technológia tanulmányozására alkalmasak, a kísérletek eredményességétől függően ki kellene fejleszteni olyan géptípust, amely automatizált kivitelben, egyszerre — csekély időbeli eltéréssel — végzi az öntés és a kovácsolás műveletét.

Igen biztató kezdeti eredményeket értünk el a nagysebességű alakítás porkohászati alkalmazásával is [8]. Mind vasporból, mind alumíniumporból a szilárd test fajsúlyának $99,5 \div 99,7\%$ -át elérő tömör portesteket lehet előállítani egyetlen ütéssel. Az oxidos alumíniumporokból készített nagysebességű alakítással tömörített és izzított alumínium portestek, amelyek elvileg teljesen ridegek, nagysebességű alakítással tovább kovácsolhatónak bizonyultak. Ezért, főleg gyorsan járó gépszerkezetekben, ahol a dinamikus hatások miatt kis súlyú alkatrészekre van szükség, nemcsak a hidegen kovácsolt nagyszilárdságú alumínium gépalkatrészek, hanem a porkohászati úton előállított és esetleg a portest kovácsolásával tovább megmunkált alkatrészeknek is nagy szerepe lehet.

5.2 Nagyszilárdságú lemezekből készült szerkezetek

Valamennyi lemezről készült szerkezetnél alapvető probléma a kötésnek az elkészítése, amely lehet oldhatatlan kötés (forrasztás, hegesztés, szegecslés), vagy oldható kötés (pl. csavarkötés). Az oldhatatlan kötések készítésére a legelterjedtebb technológia az ömlesztő hegesztés. Az ömlesztő hegesztéssel hegeszthető anyagok közül a legnagyobb szilárdságúak ma az Al—Zn—Mg típusú ötvözetek, melyekkel kereken $18 \div 20$ kp/mm²-es folyáshatárú ($\sigma_{0,2}$) kötés állítható elő. Kétségtelen, hogy ezen ötvözeteknek kisebb-nagyobb javítását el lehet érni — az előzőekben kifejtettek szerint — nagy tisztaságú alapanyag alkalmazásával [9]. Ha az acél és az alumínium ára közti különbséget figyelmen kívül hagyjuk, akkor az ilyen ötvözetből ömlesztő hegesztéssel készült szerkezetek kétségtelenül könnyebbek a ma Magyarországon használt acélszerkezeteknél. Jelenleg ugyanis általában a 35-ös folyáshatárú acélokat hegesztik. A 35-ös folyáshatárt a fajsúlyok arányában átszámítva, egy 12,4 kp/mm² folyáshatárú anyagból készített hegesztett alumínium szerkezet eredményezne hasonló súlyt. A fejlett nagyipari államokban azonban már kiterjedten használják a 70 kp/mm² folyáshatárú acélokat. Az ezekből készített szerkezettel az alumínium csak akkor volna versenyképes, ha a folyáshatára 25 kp/mm² volna. Amennyiben a 70 kp/mm² folyáshatárú hegeszthető acélok használata elterjed, akkor az alumínium ötvözetből készített hegesztett szerkezet súly szempontjából sem marad versenyképes az acéllal, nem is beszélve az árkérdésekről. Jelenleg még laboratóriumi kísérletek formájában sem ismert olyan alumínium ötvözet, amelyből ömlesztő hegesztéssel készített szerkezetben a 25 kp/mm² folyáshatárnál nagyobb folyáshatárt

lehetne előállítani. Kézenfekvő tehát a problémát megkerülni a már tárgyalt hidegen alakított lemezek alkalmazásával. A hidegen alakított lemezekhez szükségképpen nem lehet ömlesztő hegesztést használni. A kísérletek azonban azt mutatták [10], hogy a ponthegeztés környezetében a hidegen alakított lemez kismértékű lágyulása a kötés szilárdságát nem csökkenti, sőt acéloknál még növekedést is lehetett észlelni. A ponthegeztést célszerű ragasztással kombinálni, mert a ponthegeztett, ragasztott kötések szilárdsága eléri, sőt meghaladja a hidegen alakított anyag szilárdságát is. A ponthegeztés és ragasztás kombinációjával javul a kötés szilárdsága ismételt igénybevételek esetén is.

Végül, de nem utolsósorban említendő meg, hogy ott, ahol a ragasztás és ponthegeztés kombinációjával előállított kötés sem kielégítő szilárdságú, vagy fáradással szemben nem felel meg, könnyen és gyorsan lehet a kötést előállítani szegeccseléssel vagy a szegeccselés és ragasztás kombinációjával.

A nagysebességű alakító gépekkel végzett kísérleteink során azt találtuk, hogy a nagysebességű ütőművekkel még rideg anyagokat is kifogástalanul lehet lyukasztani úgy, hogy a lyuk környezetében repedés vagy képlékeny alakváltozás ne forduljon elő. A lyuk minősége eléri a fúrással készített lyuk minőségét. A Fémipari Kutató Intézetben a lyukasztási kísérletekre is kifejlesztettünk egy kisméretű berendezést, amely azonban — szemben az előbb bemutatott ipari méretű kovácsoló berendezésekkel, — egyelőre csak laboratóriumi kutatómunkára alkalmas.

A hegesztett kötésekén kívül sok helyen, főleg helyszíni szereléseknél felmerül az oldható kötések készítésének szükségessége. Erre két utat lehet megjelölni:

- a szükséges nagyszilárdságú csavarokat a nagysebességű ütőművekkel hidegen előrefolyatással lehet gyártani, csupán a csavarmentet kell bevágni. A csavar hidegalakítása itt nemcsak szilárdsági szempontból szükséges, hanem a csavarmentek berágódásának az elkerülésére is;
- egy másik megoldási út a csavarokat kevésbé ötvözött acélból készíteni és a kész csavart nitridálni. A nitridált felület érintkezése az alumínium ötvözetrel nem jelent korrózióveszélyt.

Végül a teljesség kedvéért a kötésmódok között megemlítendő a forrasztás problémái is. Az alumínium a felületén levő vékony oxidhártya miatt hagyományos módszerekkel nem forrasztható. Megoldható a feladat azonban ultraszónikusan rezgetett forrasztópákával. Ez a módszer tömeggyártásra nem alkalmas.

Ha forrasztott kötések tömeggyártásban kell előállítani, legcélszerűbb az alumíniumot hengerlés vagy húzás során olyan anyaggal borítani, amely könnyen forrasztható. Vezetékeknél ilyen célra a legcélszerűbb a vékony rézréteggel bevont alumínium, lemezeknél pedig Al—Zn vagy Al—Zn-ötvözet-kombinációk jöhetnek majd számításba.

IRODALOM

1. GILLEMOT, L.—SINAY, G.: *Acta Techn. Hung.* **22** (1958), 149—173
2. GILLEMOT, L.: International Conference on Fracture (1965) Sendai, Japan, No. 3. D. I. 47—80
3. PROHÁSZKA J.: *Műszaki Tudomány* **44** (1971), 255
4. GILLEMOT, L.—MORZÁL, J.—GILLEMOT, L. jr.: *Acta Techn. Hung.* **64** (1969), 259
5. GILLEMOT, L.: *Metal Forming* (1970), 137
6. GILLEMOT, L.: *La Metallurgie* **101** (1969), 333
7. GILLEMOT, L.: *Gépgyártástechnológia* **11** (1971), 16
8. GILLEMOT, L. jr.: *Acta Techn. Hung.* **64** (1969) 427—442
9. GILLEMOT, L.—BURAY, Z.—BURAYNÉ MIHÁLYI E.: Magyar szabadalmi bejelentés (1968)
10. BAUER, F.: *Periodica Polytechn.* **16** (1972), 375—391

Some Questions of the Central Research Program of the Aluminium Industry. The paper tries to recapitulate only those alloying and production possibilities, which are founded on Hungarian informative experiments and the further development of which up to industrial application level could be the central questions of the research program planned for the period up till 1990. Naturally, the important and essential questions incorporated in the research program, but not discussed here, must be solved either by national or by international cooperation, or by the purchase of licences and of know-how, as soon as possible.

Einige Probleme des zentralen Forschungsprogramms der Aluminiumindustrie. In der Arbeit versucht der Verfasser nur über jene Legierungs- und technologischen Möglichkeiten einen Überblick zu erteilen, die durch einheimische informative Versuche begründet wurden und deren Weiterentwicklung bis zum Niveau der industriellen Anwendung eine zentrale Frage des für den Zeitraum bis 1990 geplanten Forschungsprogramms sein kann. Dabei wurde auch daran gedacht, daß die in das Programm der Forschungsthemen aufgenommenen, aber hier nicht besprochenen, wichtigen und wesentlichen Themen durch einheimische Forschungsarbeit, oder durch internationale Kooperation, oder aber durch Ankauf von Lizenzen und Know-how sobald als möglich gelöst werden müssen.