

SÜLLYESZTÉKBEN KOVÁCSOLT ÖTVÖZÖTT ALUMÍNIUM PRÓBATESTEK SZAKÍTÓSZILÁRDSÁGA

DETERMINATION OF TENSILE STRENGTH OF FORGED ALUMINIUM SPECIMENS

Árvay Csaba*, Dr. Pálinkás István**

SUMMARY

We aimed to determine the tensile strength of forged aluminium specimen produced from 2 types of cylindrical aluminium rod, which are the most commonly used ones in the Hungarian practice (EN AW 6082 and EN AW 2017).

Several forged specimen were produced in a temperature range of 350 and 500 °C, as suggested in the literature, and then the optimal forging temperature was determined in point of the best tensile strength.

ÖSSZEFOGLALÁS

A dolgozat a hazai gyakorlatban leggyakrabban alkalmazott ötvözött alumíniumból (EN AW 6082 és EN AW 2017) süllyesztékes kovácsolással előállított próbatetek szakítószilárdságának meghatározását mutatja be, a szakirodalom által javasolt 350 °C és 500 °C közötti kovácsolási hőmérséklet tartományban. A kísérletek alapján meghatároztuk a kovácsolási hőmérséklet és a szakítószilárdság kapcsolatát a gyakorlatban alkalmazott körülmények között.

1. BEVEZETÉS

A süllyesztékes kovácsolás olyan forgács nélküli melegalakító eljárás, amelyet a kedvező szilárdsági tulajdonságokat igénylő, sorozatgyártásban készülő alkatrészek gyártási folyamatában alkalmaznak. A kovácsolás célja egyrészt a fém előírt geometriai alakra munkálása, másrészt mechanikai tulajdonságainak javítása, szemcsenagyságának finomítása és a megfelelő szálirány kialakítása. A pontos geometria egyéb alakítási eljárással, például öntéssel is létrehozható, a jelentős igénybevételt elviselő alkatrészek megfelelő mechanikai tulajdonságai azonban csak kovácsolással érhetők el. Alkalmazásával nemcsak az anyagveszteség csökkenthető, hanem a kedvező szilárdságértékek miatt az alkatrészek kisebb tömegűre tervezhetők. A technológia során jó felületi minőségű, és napjaink technológiai követelményeinek megfelelő méretpontosságú alkatré-

szeket tudunk előállítani. Az áttekintett publikációk sok szempontból vizsgálták az alakítható ötvözetek tulajdonságait, amelyek a képlékeny alakítással kapcsolatban felmerülnek. Azonban a kísérletek zöme laboratóriumi körülmények között végrehajtott mérés, amelyek peremfeltételei sokszor eltérnek az ipari gyakorlatban alkalmazott gyártási körülményektől. A nagyszilárdságú ötvözetek ilyen jellegű vizsgálataira igen kevés példát találunk. Indokolt olyan vizsgálat végrehajtása, amely a gyakorlati körülményeket is figyelembe veszi, és a gyártás során elérhető mechanikai tulajdonságok optimalizálását tűzi ki célul.



1. ábra. Süllyesztékes kovácsolással gyártott próbatest

2. AZ ALUMÍNIUM KOVÁCSOLÁSA

A képlékeny alakítás során létrejövő maradó alakváltozás következtében a fémek, és ötvözetek legtöbb tulajdonsága megváltozik. A legnagyobb változást a szilárdsági értékekben tapasztalhatjuk. Az alakítás hatására a szerkezetben maradó feszültségek hatására a fémek szilárdsági értékei növekednek, míg alakíthatósági, képlékenységi tulajdonságai romlanak. [10], [11] Ezek a hatások részben vagy teljesen megszűnnek, ha a fémeket egy jellemző hőmérséklet határ fölé hevítjük, ezt az ötvözetekre jellemző hőmérsékletet lágyulási hőmérsékletnek nevezzük. A lágyulási hőmérséklet lényegében egybeesik az újrakristályosodás kezdő hőmérsékletével. A kovácsolás során az anyagot e fölötti hőmérsékletre hevítjük, mivel alakításnál az anyag szilárdságának növekedése egyértelműen hátrány. A magasabb szilárdságú anyag alakítási ellenállása nagyobb, ami több energiát, erősebb gépet, szerszámot igényel, és a szerszámok gyorsabb elhaszná-

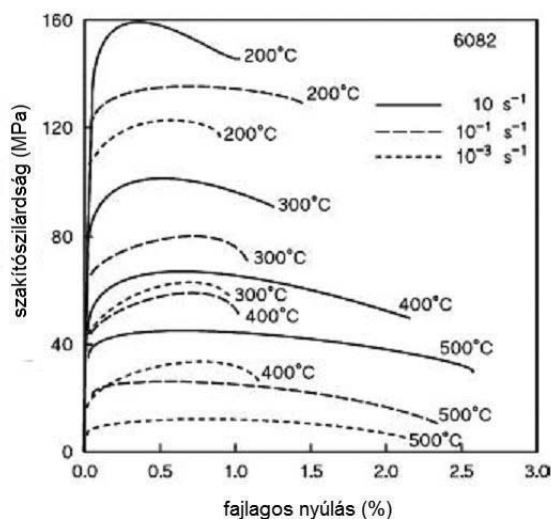
* SZIE Műszaki Tudományi Doktori Iskola, levelező hallgató

** SZIE GÉK Gépipari Technológiai Intézet, főiskolai tanár, témavezető

lódását eredményezi. A későbbi felhasználás során azonban az anyag szilárdsága egyértelműen előnyös, főleg, ha nem jár a szívósság csökkenésével.

Az irodalmi adatok a két témakör közül – megmunkálási tulajdonságok, végtermék tulajdonságok – főleg az alakíthatóságra vonatkoznak. Ez a technológiai szempontok figyelembevételével érthető is. Az acélok esetében ezek – mivel az évszázadok óta alkalmazott és kutatott anyag – az eredmények az ipari alkalmazások területén rendelkezésre állnak, csak a legújabb anyagok, speciális megmunkálási területek esetén szükséges vizsgálni. Az eredmények az alumínium területén közel sem ilyen kiforrottak, jelenleg is folynak a kutatások.

A vizsgálat tárgyát képező EN-AW 6082 ötvözet kovácsolási hőmérsékletét a szakirodalom [3], [4] általában 420 °C és 520 °C közé teszi, 500 °C-ként megjelölve az optimumot [5]. Ezt igazolja a 2. ábra is. Egyes kutatók szerint alumíniumötvözetek esetében gazdaságosabb a képlékeny alakítást alacsonyabb hőmérsékleten végrehajtani. [7], [8], [9]. A gyártási szempontokkal együtt azonban figyelembe kell venni a késztermékkel szemben támasztott követelményeket.



2. ábra. Szakítási diagramok különböző hőmérséklet és vizsgálati sebesség értékek esetén (6082 alumínium) [6]

A képlékenyalakítás során az alakítás sebessége is befolyásolja az anyag szilárdsági jellemzőit [6]. A szilárdsági jellemzők mellett az anyag alakításánál szemcseszerkezetre gyakorolt hatásai is fontosak. A képlékenyen alakított fémek izzítása az alakításnak a fém kristályszerkezetére gyakorolt hatásait is megszünteti úgy, hogy a fém szövete az izzítás után az alakítást megelőző állapothoz hasonló lesz, a szemcsék mérete viszont változik. Az újrakristályosodás kristálycsírák képződésével indul meg és mérhető sebességű, hasonlóan az olvadékból való kristályosodáshoz. Az új kristallitok csírái többnyire a deformált kristályok határának és a csúszási vonalak találkozási helyén keletkeznek, és az alakított kristályok anyagából növekednek, mindaddig amíg az anyagban deformált kristallit nem marad.

Amennyiben az újrakristályosodás befejeztével magasabb hőmérsékletre hevítjük a fémeket, vagy hosszabb

ideig hűn tartjuk, a képződött új szemcsék magukba olvaszthatják szomszédait. Ennek eredményeképp megnő az átlagos szemcseméret, tehát durvul a fém szövete. A folyamatot másodlagos újrakristályosodásként ismerjük. Az újrakristályosodás során kialakuló szemcseméret azért fontos majdnem minden technológiai szempontjából, mert az megszabja a legfontosabb mechanikai tulajdonságokat. Minél kisebb a szemcsék mérete, annál nagyobb az anyag szakítószilárdsága, és annál szívósabb.

Az újrakristályosodáskor keletkező szövet szemcsenagyságát döntően két tényező határozza meg: az alakítás mértéke és a hevítés hőmérséklete. Eszerint az újrakristályosodott fém annál finomabb szerkezetű, minél nagyobb volt az alakítás mértéke, és minél kisebb a hevítési hőmérséklet. Fontos szerepet játszik azonban a hevítés ideje is, minél rövidebb a hevítés ideje annál kisebb az átlagos szemcsenagyság [11].

Kutatások szerint a két hőkezelés között eltelt pihentetési idő is hatással van a végtermék ezen jellemzőire [12]. A hőkezelés eredményessége sok összetevő függvénye, melyek napjainkban is kutatások alapját adják, különösen a közelmúltban kifejlesztett ötvözeteknél [14]. A hűntartás hőmérséklete és ideje, valamint a hűlési sebesség olyan paraméterek, amelyek pontos betartása és sok esetben követhetősége a gyártás során alapvető feltétel. A precíz vezérlés, pontos hőmérsékletmérés és regisztrálás azonban manapság elengedhetetlen. Mivel a különböző ötvözetek nemesítéséhez más-más hőmérsékletre és időtartamra van szükség, a kemencevezérlőkben különböző programok indíthatóak a kemencében lévő anyag függvényében.

2.1. A vizsgálat célja

A cél az egyes irodalmi adatokat figyelembe véve, de a késztermék tulajdonságaira összpontosítva megállapítani az optimális gyártási paramétereket. A gyárthatóság mellett főként a végtermék szilárdságának és szívósságának növelése a cél. A két tulajdonság egyidejű javulása csak a szemcseszerkezet finomításával érhető el. A vizsgált ötvözeteknél kovácsolás után minden darabot hőkezelünk, amellyel a megmunkálási feszültségek csökkenthetők és az alakítás következtében létrejövő szilárdságnövekedés (ami a szívósság csökkenésével jár) is megszűnik. A darabok közti különbség csak szemcseméretben lesz. Ennek mechanikai hatásait mutatjuk be.

3. A VIZSGÁLAT MÓDSZERE

A vizsgált próbatestek előkészítése a 20 kg alatti, kis és közepes sorozatú, az általános gépipar és a járműgyártás számára készülő alkatrészek kovácsolási technológiája szerint történt. Kiinduló anyagként nagyrészt kör keresztmetszetű rúdanyag használatos, azonban a bonyolultabb geometriájú alkatrészek a darab alakját leginkább megközelítő profilból is készülhetnek. A nemesítés két lépcsője az edzés és az azt követő megeresztés döntő mértékben befolyásolja a kész darabok szilárdsági tulajdonságait.

3.1. A próbatetek előállítása

A mintasorozatok az Alutech Kft. kovácsüzemében készültek, a technológia mindenben megfelelt a sorozatban gyártott kovácsolt alkatrészek ott alkalmazott gyártástechnológiájának.

- Ennek megfelelően két fajta ötvözetből, kör keresztmetszetű, 26 mm átmérőjű és 46 mm magas kiinduló mintát alkalmaztunk. (3. ábra)



3. ábra. A kiinduló minta

- A kovácsoláshoz a mintákat eltérő (350 °C, 410 °C, 440 °C és 500 °C) hőmérsékletre hevítettük.
- A zömítés 23 mm hosszra történt, amely mintegy főalakváltozásnak felel meg, mértéke $\varphi = 50\%$,
- Majd az üzemi technológiának megfelelően nemesítő hőkezelés következett.
- Ezek után szabványos szakítóvizsgálattal meghatároztuk a minták szakítószilárdsági értékeit. A vizsgálatokat háromszoros ismétléssel hajtottuk végre.

A vizsgálatokhoz, próbatetek előkészítéséhez használt berendezések az alábbiak voltak.

- A darabolt anyagokat BSN gyártmányú gázfűtésű alagútkemencében hevítettük a meghatározott hőmérsékletre, a kemencén áthaladt darabok hőmérsékletét kézi hőmérővel mértük.
- Az alakító gép egy Vaccari gyártmányú 10NS típusú frikciós prés volt (4. ábra).



4. ábra. Vaccari gyártmányú 10NS típusú frikciós prés

- A kísérlethez az alkatrészgyártásban használt zömítő szerzsámot (5. ábra) használtunk, amelyet a művelet előtt 130 °C-ra előmelegítettük, a kísérlet alatt a szerzsám hőmérséklete végig 100 °C fölött volt. A szerzsám felületét minden mintadarab leütése előtt formaleválasztó emulzióval vontuk be.



5. ábra. A használt zömítőszerszám

- A próbateteket Balzer gyártmányú elektromos ellenállás-fűtésű kemencében (6. ábra) az ötvözetnek megfelelő hőmérsékletre hevítettük, majd a hőtartási idő letelte után vízben edzettük. A nemesítés adatait a 1. sz. táblázat tartalmazza.



6. ábra. Balzer kemence

- A nemesítő hőkezelés második lépése a megeresztés Schmitz gyártmányú gázfűtésű kamrás kemencében történt. Így mindkét ötvözettypust az alkatrészként való felhasználás szempontjából leginkább megfelelő DIN EN 515 szerinti T6 állapotr hoztuk. [13]

1. táblázat. A nemesítő hőkezelés adatai

edzés adatai			
ötvözet	hőtartás hőmérséklete (°C)	hőtartás ideje (min)	hűtővíz hőmérséklete (°C)
ENAW 6082	530	126	25
ENAW 2017	490	90	25
megeresztés adatai			
ENAW 6082	180	390	20
ENAW 2017	180	390	20

3.2. Szilárdsági jellemző mérése

A szilárdsági méréseket a Mezőgazdasági Gépesítési Intézet anyagvizsgáló laboratóriumában Instron 5581-es univerzális anyagvizsgáló berendezéssel hajtottuk végre (7. ábra).

- terhelhetősége egytengelyű húzásra és nyomásra: 50 kN,
- keresztfej-elmozdulás: 2 m
- keresztfej sebessége: 10^{-3} - 10^3 mm/min $\pm 1\%$,

A mérőeszközhöz három hitelesített erőmérő cella tartozott, melyek terhelhetősége 0,025-5 N (pontossága 0,5% a mért értékre vonatkoztatva), 5-500 N (pontossága 0,5% a mért értékre vonatkoztatva) és 500-50 000 N (pontossága 0,5% a mért értékre vonatkoztatva) határok között mozgott. A gépet számítógép vezérelte, az elektronikai mintavételi frekvencia 500 Hz, az A/D átalakító 32 bites [1].



7. ábra. Az Instron 5581-es anyagvizsgáló gép

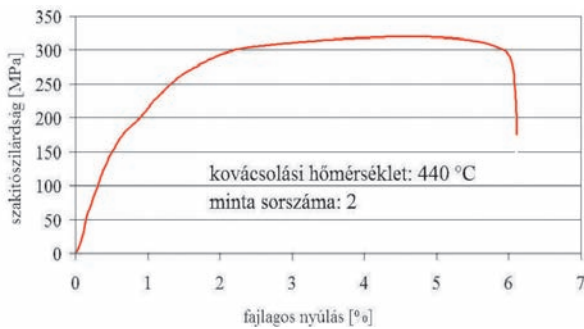
A vizsgáló berendezést a MSZ EN 10002-2-ben előírtak szerint kalibrálták. A vizsgálatokat a MSZ EN 10002-1-ben (Fémek szakítóvizsgálata szobahőmérsékleten) rögzítettek szerint hajtottuk végre [2]. A próbatetek kialakítása is a fenti szabvány szerint történt. A befogópofák a szabványban rögzített kialakításúak voltak.

A próbatetek átmérője 4 mm, a mérési hosszuk 20 mm volt. A vizsgálati sebesség a szabványban előírtaknak megfelelően volt beállítva. Az előtolási sebesség 10 mm/min volt 100 N-os terhelésig, utána pedig 3 mm/min előtolási sebességet alkalmaztunk.

Minden mérést háromszoros ismétléssel hajtottunk végre, 2. a táblázat ezen értékek átlagát tartalmazza.

5. AZ EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE

A következő diagramokon az alumínium ötvözetek szakítógörbéi láthatóak.



8. ábra. 440 °C-on kovácsolt EN AW 6082 alumínium szakítódiagramja



9. ábra. 440 °C-on kovácsolt EN AW 2017 alumínium szakítódiagramja

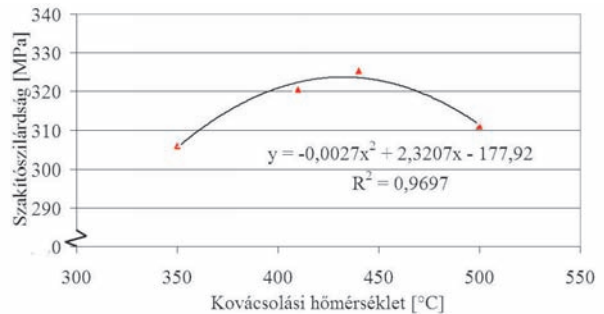
A következő ábrán az egyik elszakított próbatestet látható.



10. ábra. A próbatest szakítás után

2. táblázat. A különböző hőmérsékleten kovácsolt minták szakítószilárdsági értékei

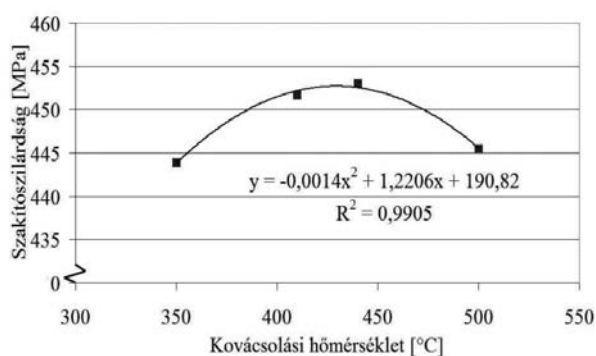
Kovácsolási hőmérséklet [°C]	Szakítószilárdság R_m [MPa]	
	EN AW 6082	EN AW 2017
350	305,87	443,92
410	320,49	451,67
440	325,36	453,08
500	310,99	445,47
Eltérés a max. értéktől [%]	6	2



11. ábra. EN AW 6082 alumínium ötvözet szakítószilárdságának alakulása a kovácsolási hőmérséklet függvényében

A 2. táblázat adataiból jól látható, hogy az EN AW 6082-es alumínium ötvözet szakítószilárdsága 305 MPa és 325 MPa között alakul a kovácsolási hőmérséklet függvényében, addig az EN AW 2017-es alumínium ötvözet szakítószilárdsága 443 MPa és 453 MPa között változik a kovácsolás hőmérséklet függvényében. A 11. és 12. ábra diagramjai ezt jól szemléltetik.

- Megállapítható, hogy a két ötvözet legnagyobb szakítószilárdsága között több mint 100 MPa eltérés mutatkozik.
- Mindkét ötvözet esetén a 440 °C kovácsolási hőmérséklet adja a legjobb szilárdsági értékeket.
- Amennyiben a maximális szakítószilárdságú munkadarabokra törekszünk, akkor célszerű a 410–440 °C hőmérséklet határok között kovácsolni.
- Megállapíthatjuk, hogy a EN AW 6082 ötvözet szakítószilárdságának a kovácsolási hőmérsékletre való érzékenysége 6%, a EN AW 2017-nek viszont csak 2%.



12. ábra. EN AW 2017 alumínium ötvözet szakítószilárdságának alakulása a kovácsolási hőmérséklet függvényében

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatást az Alutech Kft. és Pardi János igazgató úr támogatásával végeztük.

IRODALOM

- [1] A. CSATÁR – L. FENYVESI: (2008) Effect of UV radiation and temperature on rheological features of multi-layer agricultural packaging foils. Progress in Agricultural Engineering Sciences Volume 4. p. 27. (ISSN 1786-335X)
- [2] MSZ EN ISO 10002-1: (1994) Fémek. Szakítóvizsgálata, Magyar Szabványügyi Testület, Budapest.
- [3] KODER – SZARKA – TÓTH: (1970) Alumíniumötvözetek képlékeny alakítása, Tankönyvkiadó, Budapest.
- [4] KÖVES E.: Alumínium kézikönyv, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1984
- [5] W. WERONSKI – A. GONTARZ: (2003) Influence of deformation parameters on grain size of AlSi1Mg alloy in forging, Journal of Materials Processing Technology 138, pp 196-200.

- [6] S. SPIGARELLI – E. EVANGELISTA – H.J. MCQUEEN: (2003) Study of hot workability of a heat treated AA6082 aluminium alloy, Scripta Materialia 49, pp 179-183.
- [7] S. SHELJASKOV: (1994) Current level of development of warm forging technology Journal of Materials Processing Technology, Volume 46, Issues 1-2, October 1994, pp. 3-18.
- [8] O. JENSRUD – K. PEDERSEN: (1998) Cold forging of high strength aluminum alloys and the development of new thermomechanical processing, Journal of Materials Processing Technology, Volumes 80-81, 1 August 1998, pp. 156-160
- [9] S. FUJIKAWA – H. YOSHIOKA – S. SHIMAMURA: (1992) Cold- and warm-forging applications in the automotive industry, Journal of Materials Processing Technology, Volume 35, Issues 3-4, October 1992, pp. 317-342.
- [10] VOITH M. (1998): A képlékenyalakítás elmélete, Miskolci Egyetemi Kiadó 1998.
- [11] KISS E.: (1987) Képlékeny alakítás, Tankönyvkiadó, Budapest, 1987.
- [12] C. D. MARIOARA – S. J. ANDERSEN – J. JANSEN – H. W. ZANDBERGEN: (2003) The influence of temperature and storage time at RT on nucleation of the β'' phase in a 6082 Al–Mg–Si alloy, Acta Materialia, Volume 51, Issue 3, 7 February 2003, pp. 789-796
- [13] J. DATTA: (1998) Aluminium-Werkstoff-Datenblätter, Aluminium Verlag, Düsseldorf, 2. Auflage, 1998.
- [14] G. MRÓWKA-NOWOTNIK – J. SIENIAWSKI: (2005) Influence of heat treatment on the microstructure and mechanical properties of 6005 and 6082 aluminium alloys, Journal of Materials Processing Technology, Volumes 162-163, 15 May 2005, pp. 367-372.