



A szorítónyomás hatása nikkelbevonatos rézlemez és alumíniumlemez között ultrahangos hegesztés közben

Effect of Welding Pressure During Ultrasonic Welding Between Nickel-Plated Copper and Aluminium Sheets

Zamiul Alam Md,¹ Schramkó Márton,² Kovács Tünde Anna³

¹ Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Budapest, Magyarország, zamiulalam22@stud.uni-obuda.hu

² Óbudai Egyetem, Anyagok és Technológiák Doktori Iskola, Budapest, Magyarország, schramko.marton@bgk.uni-obuda.hu

³ Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Budapest, Magyarország, kovacs.tunde@bgk.uni-obuda.hu

Abstract

This study investigates the effect of welding pressure on ultrasonic welding of aluminium sheet and nickel-plated copper sheet. Both specimens were 60×10×0.5 mm in size with a 10 mm overlap and the coating thickness was 8–12 μm. The experiment was performed at different welding pressures from 0.14 MPa to 0.31 MPa while maintaining constant welding energy, time and amplitude. The results showed that the highest tensile strength of 380 N was achieved at a welding pressure of 0.14 MPa, while higher pressures caused a decrease in the tensile strength, which is believed to be due to internal cracks and hardening. To achieve the strongest bond, the optimal welding pressure was determined to be 0.14 MPa.

Keywords: ultrasonic welding, welding pressure, tensile strength, welding defects, plated copper.

Összefoglalás

Jelen cikk a szorítónyomás hatását vizsgálja az alumíniumlemez és nikkelbevonatú rézlemezek ultrahangos hegesztésére. Mindkét próbatest mérete 60×10×0,5 mm, 10 mm átfedéssel, a bevonat vastagsága pedig 8–12 μm volt. A kísérletet 0,14 MPa-tól 0,31 MPa-ig különböző szorítónyomások mellett végeztük, miközben állandó hegesztési energiát, időt és amplitúdót tartottak. Az eredmények azt mutatták, hogy a legnagyobb, 380 N-os szakítóerőt 0,14 MPa szorítónyomás mellett érte el, az ennél nagyobb nyomások pedig a szakítóerő csökkenését okozták, aminek oka vélhetően a belső repedések és keményedés lehet. A legerősebb kötés eléréséhez az optimális szorítónyomást 0,14 MPa-ban határoztuk meg.

Kulcsszavak: ultrahangos hegesztés, szorítónyomás, szakítóerő, hegesztési hibák, bevonatolt réz.

1. Bevezetés

Az ultrahangos hegesztést a 20. század közepén fejlesztették ki, kezdetben a repülőgépiparban alkalmazott ponthegeztés kiváltásának érdekében. A merev műanyagok hegesztési alkalmazása azonban csak az 1960-as években jelent meg. A hőre lágyuló műanyagok ultrahangos hegesztésének eljárása már ezelőtt létrejött. Az ultrahangos hegesztést véletlenül fedezte fel Robert Soloff,

a Sonics & Materials Inc. alapítója 1963-ban, akinek sikerült egy műanyag szalagadagolót ultrahangos hegesztővel összehegesztenie. 1965-ben Soloff munkatársával, Seymour Linsley-vel szabadalmat kapott erre a módszerre, amivel kulcsfontosságú szerepe lett az eljárás fejlődése szempontjából. Soloff fejlesztette ki az első ultrahangos hegesztőgépet, és egy fűrógép átalakításával létrehozta az első automatizált ultrahangos

hegesztőgépet, amelyet kezdetben a játékiparban használtak [1].

Az ultrahangos hegesztés szilárd fázisú hegesztési eljárás, amely nagyfrekvenciás ultrahangos rezgéseket használ anyagok, elsősorban fémek és műanyagok összeillesztésére, és nem igényel hőt, hozaganyagot vagy ragasztókat. A működése a rezgések és az anyagokra ható szorítóerő kombinációjával történik. Ez alumínium- és rézfóliák, vékony lemezek hegesztésére is használható, mivel környezetbarát, megbízható és gyors, míg az ömlesztőhegesztési eljárások nem könnyen alkalmazhatók erre a célra [2–4].

Az ultrahangos hegesztőberendezések jellemzően 15 kHz és 80 kHz közötti frekvenciatartományban működnek. Vékonyabb anyagokhoz jellemzően nagyobb frekvenciákat, vastagabb anyagokhoz pedig kisebb frekvenciákat alkalmaznak [4].

Az ultrahanghullámok a diszlokációsűrűség módosításával módosíthatják a varratok mechanikai tulajdonságait (keménység és szakítószilárdság). Az említett tulajdonságok javításához azonban optimalizálni kell az ultrahangos hegesztés teljesítményét. Alumínium-réz kötések hegesztésekor a megfelelő összeszorításra, amplitúdóra és energiára kulcsfontosságú a megfelelő paraméterválasztás a kíváló minőségű hegesztések eléréséhez. Az eljárás 4 fő csoportba osztható az ISO 4063 alapján, vagyis annak alapján, hogy milyen anyagcsoporton milyen módon végzünk hegesztést. Az eljárás két fő fajtát különböztethetjük meg a folyamat elvégzése alapján: a ponthegeztést és a folyamatos hegesztést, amelyeket az alkatrész méretétől és összetettségétől függően speciális alkalmazásokhoz használnak. A ponthegeztés egyszerűbb és kis alkatrészekhez, a folyamatos hegesztés pedig nagy és összetett munkadarabokhoz használható [3, 5].

Az ultrahangos hegesztést nagy hatékonysága és sokoldalúsága miatt számos iparágban alkalmazzák. Széles körben elterjedt az autóiparban olyan alkatrészek összekapcsolására, mint az elektromos csatlakozók és a kábelkötegek, vagy olyanokéra, amik gyors és hőmentes megoldást kínálnak. Az elektronikai iparban, minimális hőbevitelle miatt, mikroáramkörök és félvezető alkatrészek összekapcsolására használják. Az orvostudományban, az orvosi termékek sterilítása és integritása érdekében, légmentes csomagolás lezárására használják. Ezen kívül buborékcsoomagolásokban és biztonsági zárás biztosítására is használják. Ez a hegesztés figyelemre méltó a repülőgépipari alkalmazásokban is, kompozit szerkezetek és hőre lágyuló műanyagok össze-

kapcsolására a szilárdság-tömeg arány javítása érdekében. Ezen kívül a különböző anyagok összekapcsolására való képessége több lehetőséget kínál különböző iparágakban a terméktervezésben és a testre szabásban [6, 7].

Az ultrahangos hegesztés számos előnnyel rendelkezik más hegesztési módszerekkel szemben, például különböző anyagok, például alumínium és réz, valamint ezek bevonattal történő hegesztésére. Az Al-Cu kötéseknel szilárd fázisú kötést hoz létre, ami tökéletes a lítium-ion akkumulátor-csomagok gyártásához, mivel kisebb hőterhelés mellett köti össze az anyagokat. Műanyagok esetében az ultrahangos hegesztés nagyfrekvenciás hanghullámokat használ kötés kialakításához; ez a folyamat nagyon tiszta és hatékony, és helyes paraméterek mellett elhanyagolható hőkárosodással jár [7–11].

2. Anyag és módszertan

A kísérlet az összeszorító erő hatását vizsgálja Al- és Ni-bevonatú Cu ultrahangos hegesztésére. Az eljárás kedvező, mert a két anyag egyesítéséhez nincs szükség nagy energiabevitelre az eljárás során.

Shakil és munkatársai számos kísérletet végeztek az optimális ultrahangos hegesztési paraméterek meghatározására. Alumíniumötvözetet és rozsdamentes acélt használtak a kísérlethez, és kijelentették, hogy a nagyobb összeszorító erő rövidebb hegesztési időt és kisebb energiát igényel, mint a kisebb összeszorító erő, ugyanazon szakítószilárdság elérése mellett. Ezen szakirodalmi eredmények alapján építettük fel a kísérleteket [12].

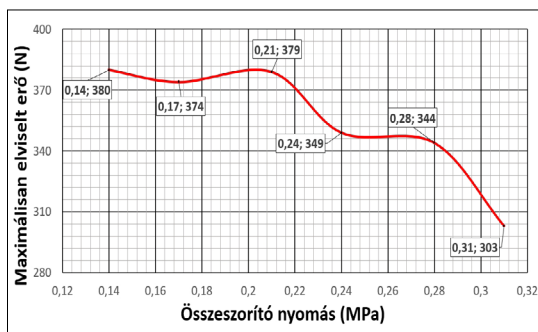
A kísérletet 0,14 és 0,31 MPa szorítóerő között, 0,035 MPa lépésekben változtatva végeztük el, a hegesztési energiát, időt és a hegesztés amplitúdóját állandó értéken tartva. A hegesztési energia 100 J, a hegesztési idő 1,20 másodperc, az alkalmazott amplitúdó pedig 45 μm volt. Mind az alumínium-, mind a nikkelbevonatú rézminták hossza 60 mm, szélessége 10 mm és vastagsága 0,5 mm volt, 10 mm átfedéssel, ami 100 mm^2 átfedési területet eredményezett. A nikkelbevonat átlagosan 8–12 μm vastagságú volt.

A vizsgálat elvégzéséhez egy Branson (Ultraweld L20) ultrahangos hegesztőgépet (1. ábra) használtunk a mintavarratok kialakításához, a vizsgálatokhoz pedig szakítógépet.

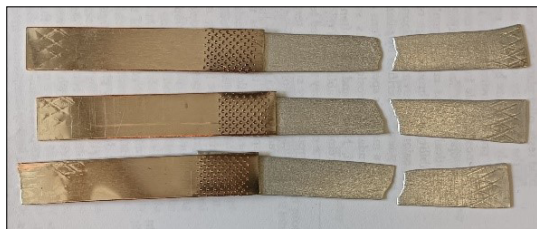
A szorítónyomás változtatása kulcsfontosságú ebben a kísérletben, mivel ez befolyásolja a varrat szilárdságát és minőségét. Összességében



1. ábra. Ultrahangos hegesztőgép



2. ábra. A szakadáshoz szükséges erő és a hegesztési összeszorító nyomás diagramja



3. ábra. Kisebbs nyomáson hegesztett mintadarabok



4. ábra. Nagyobb nyomáson hegesztett mintadarabok

a kísérlet célja az volt, hogy meghatározza a szorítónyomás hatását az Al- és Ni-bevonatú Cu ultrahangos hegesztési folyamatára, szabályozott beállítás és állandó paraméterek alkalmazásával.

3. Eredmények

3.1. Az összeszorító erő hatása

Az Al- és Ni-bevonatú Cu ultrahangos hegesztésekor a szakítóerő alakulását és a hegesztés közbeni nyomásösszefüggést elemeztük, amit a hegesztési nyomás – szakadási erő görbe szemléltet (2. ábra). Az összeszorítás mértéke 0,14 MPa és 0,31 MPa között változott, a szakítóerőt pedig minden szorítónyomásszinthez tartozó három minta átlagaként mértük.

Az ábra azt mutatja, hogy a legnagyobb szakítóerőt a vizsgált legkisebb szorítónyomásnál, 0,14 MPa-nál érték el, 380 N szakítóerő mellett. Bár 0,17 MPa-nál kissé visszaesik 374 N-ra, az általános tendencia a szakítóerő folyamatos csökkenését mutatja, ahogy a szorítónyomás növekszik. A legkisebb szakítóerő 0,31 MPa-nál található, ahol az erő értéke 303 N.

Ezek az eredmények arra utalnak, hogy a nagyobb szorítónyomás negatívan befolyásolja a hegesztési szilárdságot, valószínűleg az anyag deformációja vagy károsodása miatt. A szakítóerő szempontjából optimális szorítónyomás ebben a kísérletben 0,14 MPa volt, ami a kísérleti körülmények között a legnagyobb, 380 N szakadási erő eredményezte.

3.2. A szorítónyomás hatása a szakadás helyére

A törés helyének elemzése azt mutatta, hogy a szorítónyomás a kötés integritására kedvezőtlenül hat, ha mást nem módosítunk. A 3. ábrán látható, hogy a 0,14 MPa nyomáson hegesztett daraboknál az alumíniumlemez szakadt el a szakítópróba során, ami azt jelzi, hogy a kötés szilárdsága nagyobb, mint az alumíniumé. A 0,31 MPa nyomáson hegesztett daraboknál, amiket az 4. ábra mutat, a hegesztési varrat szakadt el, ami a kötés szilárdságának romlását jelzi a túlzott szorítónyomás miatt.

Az adatok korrelálnak a szakadási erő méréseivel, megerősítve, hogy 0,14 MPa hegesztési nyomás mellett a kötés az alapanyagban törik, ami erős kötésre utal. A túl nagy szorítónyomás nem alkalmas a megfelelő kötés kialakítására, mivel a szakadás helye a kötésben vagy közvetlen környezetében van. Az elfogadható kötéseknel jellemzően az alapanyag törik, míg a hibás paraméterek

esetén a varrat közvetlen környezetében, esetleg a varratban alakul ki a törés. Ez arra enged következtetni, hogy hibás paraméterek esetén a kötésben túl gyenge kapcsolat alakul ki, vagy a környezet károsodik a hegesztés során, ezzel roncslva a kötés teherbírását. Ezért a 0,14 MPa az optimális hegesztési palaméter a megfelelő szilárdság eléréséhez a tesztelt paraméterek közül.

4. Következtetés

Cikkünkben az összeszorító erőt vizsgáltuk, miközben más tényezőket állandó értéken tartunk. Az eredmények azt mutatják, hogy a legnagyobb szakítóerőt, 380 N-t 0,14 MPa nyomásnál éri el. Nagyobb szorítónyomásnál a szakítóerő csökken, és a szakítóerő legkisebb értéke 303 N, amelyet a legnagyobb, 0,31 MPa szorítónyomásnál érnek el, ezután a kötés megfelelő minősége kérdésessé válik, és a megfelelő kötés minőségének elérése is nehézkes. Ez arra enged következtetni, hogy esetünkben a hegesztési nyomás növelésével a hegesztés minősége romlik egy adott pont felett, így a helyes paraméterválasztás kiemelten fontos a hegesztés során. A helytelen paraméterek könnyen vezethetnek repedésekhez vagy belső károsodáshoz a varratban. A törés helyének elemzése arra utal, hogy a nagyobb szorítónyomás csökkenti a mintadarab teherviselő képességét.

A tanulmányon alapuló jövőbeli megvalósítások az ultrahangos hegesztés folyamatoptimalizálására összpontosíthatnak más paraméterek, például a hegesztési energia, az idő és az amplitúdó tanulmányozásával. További vizsgálatok kiterhetnek a változó anyagvastagságra, a kötés méretére, valamint a változó ultrahangos frekvenciák hatásának vizsgálatára. Ezen kívül a különböző típusú bevonatok és felületkezelések hatásainak vizsgálata értékes információkat nyújthat a kötések vizsgálatára és az anyagok kompatibilitására ultrahangos hegesztés esetén.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Woo J.: *A short History of the development of Ultrasound in Obstetrics and Gynecology*. <http://www.ob-ultrasound.net/curie.html> (letöltve: 2025. április 1.)
- [2] Fujii H. T., Goto Y., Sato Y. S., Kokawa H.: *Microstructure and lap shear strength of the weld interface in ultrasonic welding of Al alloy to stainless steel*. Scripta Materialia, 116. (2016) 135–138. <https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2016.02.004>
- [3] Tang M., Zhang P., Yu Z., Shi H., Li S., Wu D., Tian, Y.: *Study on ultrasound welding process of alumi-*

num/copper dissimilar metals. Physics of Metals and Metallography, 121/14. (2020) 1400–1410.

<https://doi.org/10.1134/S0031918X20140173>

- [4] de Leon M., Shin H. S.: *Review of the advances in aluminum and copper ultrasonic welding in electric vehicles and superconductor applications*. Journal of Materials Processing Technology, 307. (2022) 117691. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2022.117691>
- [5] Yin P., Xu C., Pan Q., Zhang W., Jiang X.: *Effect of different ultrasonic power on the properties of RHA steel welded joints*. Materials, 15/3. (2022) 768. <https://doi.org/10.3390/ma15030768>
- [6] Abbas Z., Zhao L., Deng J., Wang S., Hong W.: *Advances in ultrasonic welding of lightweight alloys: A review*. High Temperature Materials and Processes, 42/1. (2023) 20220298. <https://doi.org/10.1515/htmp-2022-0298>
- [7] Bhudolia S. K., Gohel G., Leong K. F., Islam A.: *Advances in ultrasonic welding of thermoplastic composites: a review*. Materials, 13/6. (2020) 1284. <https://doi.org/10.1515/htmp-2022-0298>
- [8] Das S., Satpathy M. P., Routara B. C., Nanda B. K., Sahoo S. K.: *Ultrasonic metal welding of Al/Cu joints with Ni coating: parametric effects on joint performance and microstructural modifications*. International Journal of Materials Research, 115/11–12. (2024) 1105–1115. <https://doi.org/10.1515/ijmr-2024-0068>
- [9] Li J., Zillner J., Balle, F.: *In-depth evaluation of ultrasonically welded Al/Cu joint: Plastic deformation, microstructural evolution, and correlation with mechanical properties*. Materials, 16/8. (2023) 3033. <https://doi.org/10.3390/ma16083033>
- [10] Bose S., Chelladurai H. M., Kanaiyaram P.: *An experimental investigation on feasibility of submerged ultrasonic spot welding of thermoplastics*. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L. Journal of Materials: Design and Applications, 238/10. (2024) 2043–2057. <https://doi.org/10.1177/14644207241239475>
- [11] Görick D., Welsch J., Gerardo C. D., Kupke M., Cretu E., Rohling R.: *Inline Monitoring of continuous Ultrasonic Welding Processes of Thermoplastic Composites via a custom polyCMUT based Ultrasound Array*. In: 20th World Conference on Non-Destructive Testing (WCNDT) 29(6). 2024. NDT.net. <https://doi.org/10.58286/29933>
- [12] Shakil M., Tariq N. H., Ahmad M., Choudhary M. A., Akhter J. I., Babu S. S.: *Effect of ultrasonic welding parameters on microstructure and mechanical properties of dissimilar joints*. Materials & Design, 55. (2014) 263–273. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.09.074>