

Hegesztés – trendek, technológiák, anyagok

A hegesztés egyike a legfontosabb műanyag-megmunkálási műveleteknek, amit mutat az is, hogy sokféle technológia és ezekhez tartozó berendezés fér meg egymás mellett a piacon. A lézeres és az infrasugaras hegesztést egyre gyakrabban alkalmazzák, míg a forrószerszámos vagy tükröhegesztés kezd kimenni a divatból. Magát a hegesztést is ki lehet hagyni pl. többkomponensű fröccsöntéssel vagy szerszámon belüli szereléssel.

Tárgyszavak: ultrahangos hegesztés; lézeres hegesztés; infravörös hegesztés; vibrációs hegesztés; csatornacső; poli(butilén-tereftalát); polipropilén; regranulátum.

A hegesztés fontos része a fejlett gyártástechnológiának

Manapság a technológia fő hajtóerejét a gyorsabb, jobb minőségű, termelékenyebb gyártás jelenti, lehetőleg minél olcsóbban. Csökkenteni kell a termékek árát, és ezt sokszor azzal lehet elérni, hogy hegesztéssel kiváltanak egy szerelési lépést. Ez az állandó árnyomás arra készíti a műanyag-feldolgozó cégeket, hogy az újításokat minél hamarabb vezessék be a termelésbe. A vevők egyre inkább mind a funkciót, mind a megjelenést illetően tökéletes termékeket kívánnak, amelyek egyre inkább emberi kéz érintése nélkül készülnek. Kerülni kell minden deformációt, ezért pl. hegesztésnél adott esetben lézerdiodásort alkalmaznak egyes lézerek helyett, hogy a varrat több ponton egyidejűleg alakuljon ki, és a felmelegedés-lehűlés folyamata ne okozzon feszültségeket és deformációt.

Az automatizálás rendkívül erős kényszert jelent pl. az autógyártásban. Az árcsökkentésre irányuló nyomás következtében a gyártók kénytelenek olcsóbb anyagokat használni, több töltőanyaggal, adalékkal, ami ugyancsak nehezíti a hegesztést. Az automatizálás különösen fontos az ultrahangos hegesztés esetében. A gyártók szívesen fogadják az ultrahangos hegesztést, mert úgy gondolják, hogy egy jól automatizálható folyamat segítségével egy élők munkáigényes, nehezen reprodukálható tevékenységtől szabadulnak meg. Olyan eljárásokat keresnek, amelyek elindításához és karbantartásához nincs szükség mérnökökre, hiszen a legtöbb cég a mérnökökön is spórol. A rádiófrekvenciás hegesztésnél is a legfőbb kíváncsi a nagyobb sebesség, a hegesztési varrat integritásának ellenőrizhetősége és a „bolondbiztos” megoldások, amelyek szinte lehetetlenné teszik a tévedést. Egyre terjedő tendencia a befogási erősség hozzáigazítása a hegesztett anyaghoz és a hegesztési mélység változásainak kompenzálása. Igény van olyan PLC-vezérelt hegesztőberendezésekre is, amelyek a gyártósorba beszerelve, kamera segítségével képesek felismerni a változó munkadarabokat és alkalmazkodnak

a változó hegesztési szükségletekhez. Ezzel nő a rendszer rugalmassága, csökkennek a tárolási költségek, jobban lehet kiszolgálni a vevői igényeket.

Merre tart a hegesztési piac?

A szakértők szerint ritka az, hogy a különböző hegesztési technológiák egymás elöl vennék el a piacot. Az ultrahang esetében pl. csak az alkalmazások kb. 10%-ában lehetséges értelmes technológiakiváltásról beszélni. Van azért egy-két olyan eljárás is, amely lassan kimegy a divatból, pl. a *forrószerszám* vagy *tükörhegesztés*, amelynek nagy az energiaigénye, hosszú a ciklusideje és hajlamos arra, hogy „összekenje” környezetét. Bizonyos forró levegős módszerek helyett is áttérnek az ultrahangos hegesztésre, mert töredék energiával egy jól dokumentálható és ellenőrizhető hegesztési módszerhez jutnak. A *ragasztás* és az *oldószeres hegesztés* is csökken egyes területeken, mert a járulékos költségek (biztosítás, veszélyes hulladékok ártalmatlanítása, munkabiztonság stb.) miatt sokszor megéri áttérni egy „száraz” kötési módszerre. *A hegesztési piacot leginkább az olyan műszaki megoldások „fenyegetik”, amelyek a hegesztési lépést teljesen kiküszöbölik (pl. szerszámom belüli rögzítés, több komponensű fröccsöntés stb.).*

A hegesztési módszerek terjedésében gondot jelent viszont az, hogy a tervezők nem ismerik eléggé a hegesztési technológiák lehetőségeit és igényeit. A hegesztendő felületek megtervezésére nem fordítanak elég gondot, illetve nem igazítják hozzá a háttérfelület geometriáját a hegesztési technológia igényeihez. Ezen a helyzeten javíthat, ha a hegesztéssel foglalkozó szakemberek oktatják és képzik a tervezőket, vagy az, ha a végfelhasználó már a tervezés korai fázisában konzultál hegesztési szakemberrel is.

A *lézeres hegesztés* is terjedőben van ahhoz képest, amit 10 évvel ezelőtti bevezetésekor tapasztalni lehetett, de még mindig ez az egyik legelőnyösebb technológia. Az orvostechikában és az elektronikában, ahol érintésmentes technológiákra van igény, amelyek nem termelnek hegesztési sorját, egyre nő a módszer népszerűsége. Korábban gyakran problémák merültek fel két nem azonos összetételű anyag hegesztésekor, amelyet pl. koromtöltéssel igyekeztek megoldani, de ez a megoldás csak a nem átlátszó anyagoknál alkalmazható. Kifejlesztettek azonban olyan *infravörös elnyelő anyagokat* is, amelyek a NIR (közeli infravörös) tartományban nyelnek el, de szintelen bevonat formájában felvihetők a hegesztendő felületre. A svájci **Leister Process Technologies** kidolgozott egy nagydíjjal jutalmazott hegesztési technológiát, az ún. *Globo Welding*-et, amelynél a lézerfényt egy légcsapágyas forgó üveggömb fókuszálja a hegesztendő felületre, és ahol az üveggömb nemcsak optikai, hanem mechanikai rögzítő elemként is szolgál. Ezzel a megoldással eléri, hogy a fény csak oda koncentrálódik, ahol a mechanikai rögzítés is biztosított. Ilyen módon folyamatos és 3D-hegesztést is el lehet végezni.

Infravörös besugárzással támogatott hegesztés

Egy brit cég azt vizsgálta, hogy csatornarendszerekben hogyan lehet két teljesen különböző és komplex elemet hegesztéssel egymáshoz rögzíteni. Eredetileg hagyomá-

nyos tompahegesztéssel próbálkoztak, ez azonban lassú és nehézkes volt, és nagy gondot kellett fordítani a keletkező illó anyagok elszívására. Ennél a technológiánál teflonnal bevont lemezeket fűtenek fel, majd közvetlen érintkezésbe hozzák a hegesztendő felszínnel. Ilyenkor elkerülhetetlen, hogy bizonyos anyagmennyiség ne tapadjon a lemezekhez, amelyeket rendszeresen tisztítani kell. A **CPR Automation** cég kapott felkérést, hogy dolgozzon ki megfelelő hegesztési technológiát, aminek eredményeként egy *háromlépcsős infravörös hegesztési technológia* jött létre. Az első lépésben befogják az alsó és felső hegesztendő egységeket, másodsorra pedig egy infravörös sugárzó egységet tolnak a két darab közé és sugárzó hővel olyan hőmérsékletre melegítik őket, hogy meglágyuljanak és alkalmasak legyenek a hegesztésre. Ezt *pirométeres hőmérsékletmérővel* követik. Amikor a megfelelő hőmérsékletet elérték, kihúzzák a sugárzó egységet a darabok közül, és egymáshoz nyomják a meglágyult egységeket. Ezután már csak egy rövid idejű hűlésre van szükség, és a hegesztett modul készen van. Az új technológia minden tekintetben előnyösebbnek bizonyult a fűtőlappos módszernél. A darabok kétszer olyan gyorsan elkészülnek, az eljárás sokkal tisztább (nem szabadulnak fel illó anyagok), és gyorsabban hozzáigazítható a változó igényekhez. A *rövidhullámú infravörös sugárzás* hamarabb „bekapcsolható”, ezért elég a sugárzót akkor bekapcsolni, amikor a fűtőmodul beér a hegesztendő alkatrészek közé. Ezzel javul a folyamat energiahatékonysága is.

Melegen kötő ragasztó kiváltása

Ugyancsak Nagy-Britanniából származik egy másik hegesztési példa az infravörös sugárzók alkalmazására. Itt egy *csatornavizsgáló egység* előállításáról van szó, ahol különféle csöveket kell egy alapegységhez illeszteni – ezt korábban melegen kötő ragasztókkal oldották meg. A modern környezetvédelmi követelmények és a gazdaságosság igénye azonban arra késztették a gyártót, a **Hepworth Drainage** céget, hogy hatékonyabb megoldást keressen. A megoldást egy robotizált infravörös hegesztőkamra kidolgozása jelentette, ahol a különböző egységeket 22 másodperc alatt melegítik fel és illesztik össze, ami rövidebb, mint a korábbi technológiában volt, és a folyamat tisztább, a termék minősége pedig egyenletesebb lett. A módszer egyik kulcseleme az, hogy a kvarcból készült infravörös sugárzók alakját hozzáigazítják a hegesztendő tárgyakhoz, így a hőből pontosan annyi és oda jut, ahol szükség van rá.

Az infravörös sugárzók alkalmazásával csökkenthetők a melegítési idők. A sugárzás az éleket és hajlatokat ugyanúgy átmelegíti, mint a felületeket (szemben az érintkezéssel hőátadással), ezért komplex alakú tárgyak esetében sincs szükség hosszabb melegítésre. A rövidhullámú infravörös sugárzás elnyelése különféle anyagokban nem egyforma, de a műanyagok általában igen alkalmasak erre a célra: rövid idő alatt nagy energiamennyiséget lehet elnyeletni velük. A rövidebb melegítési és érintkezési idők felgyorsítják a folyamatot, és lehetővé teszik, hogy több darabot dolgozzanak fel párhuzamosan. Több sugárzót is kipróbáltak, többek között szénalapú hősugárzókat is, amelyek viszonylag gyorsan be- és kikapcsolhatók, és különböző hullámhosszú sugárzások előállítására képesek.

PBT hegesztése: egy összehasonlító vizsgálat eredményei

A poli(butilén-tereftalát) (PBT) részben kristályos műanyagként szívesen alkalmazott alapanyag többek között az elektronikában, ahol a belőle készült alkatrészeket gyakran hegeszteni kell. A BASF-nél összehasonlító kísérleteket végeztek annak eldöntésére, hogy mikor melyik hegesztési technológia a legalkalmasabb az *Ultradur* márkanévű termékük rögzítésére. A PBT merevsége, szilárdsága, alak- és mérettartósága, hőállósága, villamos ellenállása kitűnő, vízfelvétele, dielektromos vesztesége csekély, éghetősége mérsékelt, ezért népszerű az autóiparban, elektronikában, telekommunikációban, finommechanikában, de a háztartási gépek gyártásában is. A feldolgozhatóság javítása érdekében a BASF olyan *nanorészecskékkel módosított típusokat* dolgozott ki, amelyek folyóképessége nagyobb a hagyományos típusokénál. Ez rövidebb ciklusidőket, és/vagy bonyolultabb alakú termékeket tesz lehetővé azonos feldolgozási feltételek mellett. A hegesztési vizsgálat célja annak eldöntése volt, hogy mikor melyik hegesztési technológia biztosítja a maximális varratszilárdságot a hagyományos és a nagy folyóképességű PBT típusoknál, ugyanis az előre nem jósolható meg, hogy a folyóképesség megváltoztatása milyen hatással lesz a varratszilárdságra, illetve hogy milyen módosításokat kell a hegesztés során végrehajtani, hogy kompenzálják a folyóképesség változását. Meg kellett azt is vizsgálni, hogy a hegesztési sebesség és a hegesztési nyomás hogyan befolyásolja a hegesztés ciklusidejét. *A vizsgált technológiák között szerepelt az ultrahangos hegesztés, a vibrációs hegesztés és a lézeres hegesztés.*

Az *ultrahangos hegesztésnél* azt figyelték meg, hogy az egész rendelkezésre álló feldolgozhatósági tartományban mind a hagyományos, mind a nagy folyóképességű PBT típus jól hegeszthető, a varratszilárdság egyenletesen nagy marad. Ugyanakkor az is kiderült, hogy a nagy folyóképességű anyag alkalmazásával a hegesztési ciklusidők jelentősen (mintegy 25%-kal) rövidíthetők, ami javítja a folyamat gazdaságosságát (1. ábra).

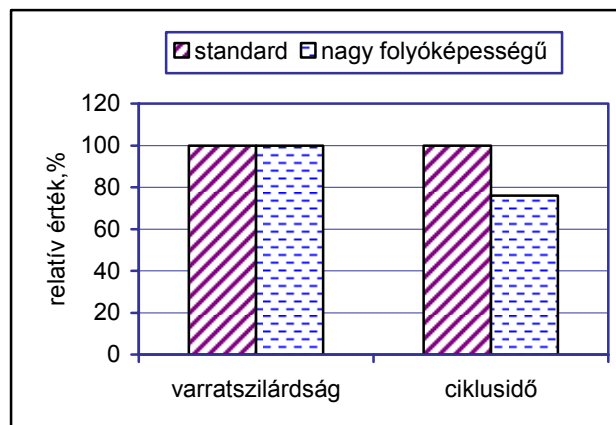
A *vibrációs hegesztési kísérletek* eredményeiből kitűnik, hogy a nagy folyóképességű PBT varratszilárdsága 12%-kal kisebb a standard típusénál, míg a két anyag kombinációja a két érték között van (2. ábra). A szakítóvizsgálatok azt mutatták, hogy a befogási nyomás növelésével a szilárdság mindegyik anyagnál csökken.

A *lézeres hegesztésnél*, ahol 1 és 2 mm vastag darabokat hegesztettek, azt figyelték meg, hogy 13–20 mm/s előtolási sebesség mellett érhető el a legjobb szilárdsági értékek. A legjobb szilárdságot lézeres hegesztésnél akkor kapták, amikor a lézersugárzás szempontjából átlátszó lemez 1 mm, az abszorbeáló nanoanyag pedig 2 mm vastag volt. Minden más kombináció esetében 6–7%-kal kisebb varratszilárdságot kaptak. Ha mindkét anyag 2 mm vastag volt, akkor az előtolási sebességet 5–6,5 mm/s-ra kellett csökkenteni, hogy ne romoljon a varratszilárdság.

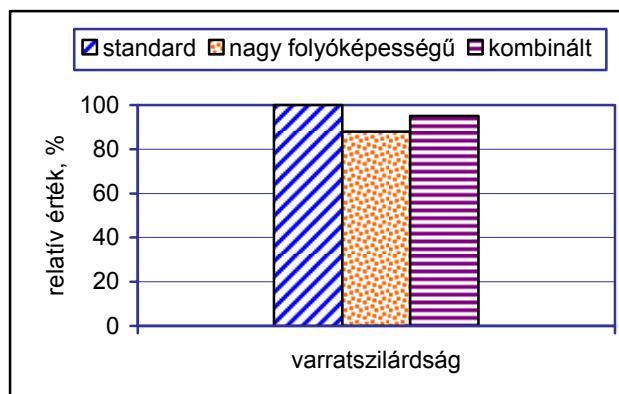
Regranulátum adagolásának hatása a varratszilárdságra

Az alapanyagok árának növekedésével a legtöbb gyártó rákényszerül arra, hogy maximális mennyiségben használjon fel gyáron belüli vagy vásárolt hulladékot

(darálékot, regránulátumot) a feldolgozás során. Ez gazdasági okokból indokolt, sokszor a mechanikai jellemzőket sem veszélyezteti, de figyelembe kell venni azt is, hogy milyen mértékben befolyásolja a regránulátum adagolása a hegeszthetőséget, ami pl. az autóiparban, de más alkalmazásokban is kritikus lehet. A tapasztalat azt mutatja, hogy ilyenkor a *hegesztési folyamat érzékenyebbé válik a folyamatparaméterekre*, hiszen a regránulátum molekulatömeg-eloszlása, és így folyási jellemzői is eltérnek az eredeti anyagétól. A darálás, regránulálás során ugyanis a nagyobb hőterhelés és nyíró igénybevétel miatt az átlagos molekulatömeg csökken. Az olyan óriási autóalkatrészgyártóknak, mint a **Visteon**, érdeke fűződik ahhoz, hogy ezeket az összefüggéseket minél pontosabban megvizsgálja, és megállapítsa azt a maximális regránulátummenyiséget, amelyet még biztonsággal alkalmazhat a termelés során.



1. ábra A standard és a nagy folyóképességű Ultradur PBT varratszilárdságának és ciklusidejének változása ultrahangos hegesztésnél



2. ábra A standard, a nagy folyóképességű és a két anyag kombinációjából álló Ultradur PBT varratszilárdságának változása vibrációs hegesztésnél

Vizsgálták a 100%-ban friss granulátumból készült, majd 25, 50, 75 és 100% regranulátumot tartalmazó polipropilénminták hegeszthetőségét *termoplasztikus poliolefin (TPO)* mintákhoz, T-geometriát használva modellként. (A PP tapadása jobb volt a TPO mintához, mintha PP-vel hegesztették volna össze). *Érdekes módon azt tapasztalták, hogy a hegesztési varrat erőssége nő a regranulátum hányadának növelésével.* 100% PP regranulátum esetében a varratszilárdság csak 5,6%-kal volt kisebb, mint magának a TPO-nak a szilárdsága, míg friss PP esetében ez a különbség 13% volt. Feltételezik, hogy a regranulálás során csökkenő lánchossz elősegíti a PP diffúzióját a TPO komponensbe, ugyanakkor viszont a kristályosság nem változik lényegesen. A pontos ok megállapításához még további kísérleteket kell végezni.

Egy nagyfrekvenciás hegesztőberendezéseket gyártó német cég véleménye szerint a regranulátum alkalmazásakor mindenképpen pontosan specifikálni kell az alkalmazott hulladék mennyiségét, összetételét, különösen a szennyezettségét. Más hegesztőberendezés-gyártók arról számolnak be, hogy ügyfeleik 10–20% regranulátum felhasználása mellett is sikeresen tudtak hegeszteni. Abszolút limitek helyett inkább azt kell tisztázni, hogy milyen kívánalmak vannak a varratszilárdsággal és más fizikai jellemzőkkel szemben. *A legfontosabb az, hogy a felhasznált anyag minősége állandó legyen.* Ha egy technológiát pl. 10% regranulátumra állítottak be, ezt önkényesen nem lehet megnövelni, ha közben megnő a nyersanyag ára. Minél nagyobb mennyiségű műanyag olvad meg a hegesztés során, annál kevésbé érzékeny a módszer a regranulátum jelenlétére. Ultrahangos hegesztésnél, ahol a folyamat számítógépesen vezérelhető és követhető, egyúttal beállítható a regranulátum jelenlétének felismerése, és ha szükséges, a folyamat paramétereinek módosítása.

Az autópárban belső alkatrészek és motorházon belüli alkatrészeknél, ahol nincs szükség „A” minőségű felületre, szívesen használnak adalékként regranulátumot a költségek csökkentésére. A rendkívül igényes **General Motors** gyakorlatában még 100% reciklátumból készült alkatrészek is előfordulnak, amelyek ugyancsak jól hegeszthetők. Nagyfrekvenciás hegesztésnél időnként a regranulátum jelenlétét azzal kompenzálják, hogy megváltoztatják a villamos tér frekvenciáját (pl. 20 kHz-ről 30–40 kHz-re).

Regranulátumot tartalmazó anyag hegesztésénél a következő jó tanácsokat célszerű figyelembe venni:

- a regranulátum mennyiségének amennyire lehetséges, állandó szinten tartása,
- csak jó minőségű darálék használata, amely nem szennyezett piszokkal, olajjal, zsírral, fűrészporral stb.,
- a regranulátumot tartalmazó nyersanyag minden tételének vizsgálata folyóképesség szempontjából,
- lehetőleg mindkét hegesztendő fél ugyanabból az összetételű anyagból készüljön,
- a regranulátumot tartalmazó anyagból készült varrat mechanikai tulajdonságainak vizsgálata az igényeknek való megfelelés szempontjából,
- nagy, önpozicionáló, robusztus hegesztési geometriák alkalmazása, a szűk toleranciájú geometriák elkerülése,

- a bevált tervezési szabályok (falvastagság, beömlőnyílások elhelyezése, kerekítési sugarak stb.) követése, jó hegesztési varratok előállítása céljából,
- a fröccsgép hőmérsékleti és nyomási paramétereinek megfelelő beállítása, hogy az ömledékdegradációt, a befagyott feszültségeket, gyenge kötéseket és varratokat a terméken belül elkerüljük,
- lehetőleg számítógéppel vezérelt és monitorozott hegesztési technológia használata, amely lehetővé teszi a hegesztési folyamat részleteinek megértését és optimalizációját.

A felsorolt példákából kiderül, hogy az automatizált hegesztés nagymértékben hozzájárulhat a gyártási eljárás gazdaságosabbá tételéhez, de a hegesztési technológiát gondosan meg kell választani, a választott technológiát a darab tervezésekor figyelembe kell venni, a technológiát esetenként hozzá kell igazítani az egyedi igényekhez, és alaposan meg kell vizsgálni az anyagi összetétel minden változtatását (pl. nagy folyóképességű típus bevezetése, regranulátum hozzáadása).

Készítette: Dr. Bánhegyi György
www.polygon-consulting.ini.hu

Colvin, R.: Welding bonds processors to new technology. = Modern Plastics Worldwide, 83. k. 5. sz. 2006. p. 24–26.

Lembke, R.: Wärme verbindet. = Plastverarbeiter, 58. k. 4. sz. 2007. p. 44–45.

Kuriykov, Y.; Völkel, M. stb.: Gute Verbindung. = Plastverarbeiter, 58. k. 5. sz. 2007. p. 50–51.

Colvin, R.: Regrind amounts can affect application weld strength. = Modern Plastics Worldwide, 84. k. 3. sz. 2007. p. 30, 31, 38.