



B5

Változat: 9

Kiadva: 2018. 03. 21.

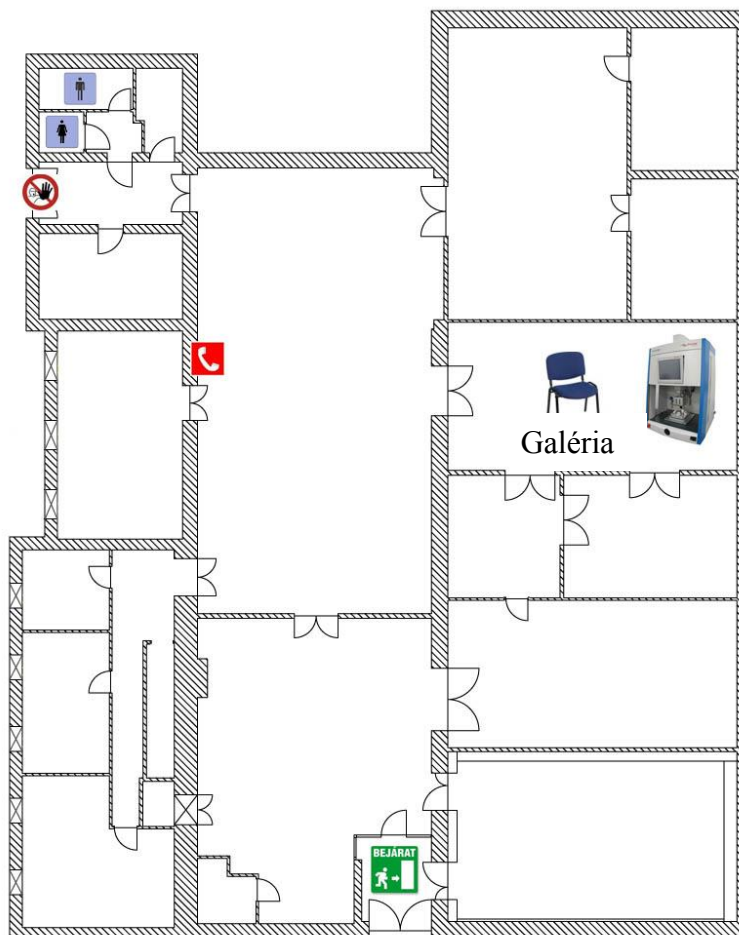
**BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR
POLIMERTECHNIKA TANSZÉK**

Kötések

POLIMEREK KÖTÉSI TECHNOLÓGIÁI

**A JEGYZET ÉRVÉNYESSÉGÉT A TANSZÉKI HONLAPON KELL ELLENŐRIZNI!
WWW.PT.BME.HU**

A LABORGYAKORLAT HELYSZÍNE



TARTALOMJEGYZÉK

1.	A GYAKORLAT CÉLJA	3
2.	ELMÉLETI HÁTTÉR	3
2.1.	ERŐVEL ZÁRÓ KÖTÉSEK	3
2.2.	ALAKKAL ZÁRÓ KÖTÉSEK	4
2.3.	ANYAGGAL ZÁRÓ KÖTÉSEK	6
3.	A MÉRÉS SORÁN HASZNÁLT GÉPEK, BERENDEZÉSEK	14
4.	A TÉMÁHOZ KAPCSOLÓDÓ FONTOSABB SZAVAK ANGOLUL, NÉMETÜL	15
5.	AJÁNLOTT IRODALOM	15
	MÉRÉSI JEGYZŐKÖNYV	16

1. A gyakorlat célja

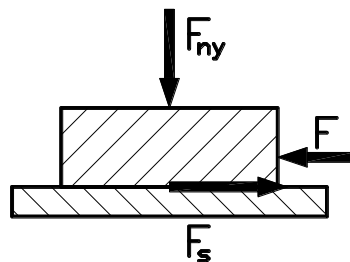
A gyakorlat célja a polimerek kötési technológiáinak bemutatása, illetve rendszerezése. A gyakorlaton megismerkedünk a polimerek kötéseinek csoportosítási rendszerével, és összehasonlítjuk a különböző kötések teherbíró képességét. Az anyaggal záró kötési technológiák közül bemutatásra kerül a hőtükros csőhegesztés, az ultrahanghegesztés, valamint különböző típusú ragasztóanyagokkal készült kötések. A gyakorlaton elkészített kötések szakítóvizsgálattal hasonlítjuk össze.

2. Elméleti háttér

A műanyag szerkezeti elemek kötéstípusai egyrészt fizikai, vagy kémiai hatáselvük szerint csoportosíthatók, ennek megfelelően megkülönböztetünk erővel-, alakkal- és anyaggal záró fizikai kötések, és kémiai erőkkel működő ragasztott kötések. Másrészt a kötések funkciójuk – és az újrahaznosítás szempontja – alapján oldhatóságukkal (oldható, vagy nem oldható kötések) jellemezhetjük.

2.1. Erővel záró kötések

Az erőzáró kötések létrejöttéhez olyan működő erők szükségesek, amelyek hatására súrlódásos kapcsolat jön létre a két test között, és ez a súrlódási erő (F_s) biztosítja a testek közötti elmozdulás-mentes kapcsolatot (1. ábra). Csavarkötések legfontosabb előnye, hogy alkalmazásával oldható kötést lehet kialakítani, emellett különböző anyagpárosításoknál is jól alkalmazható (pl.: fém-műanyag kapcsolatnál).



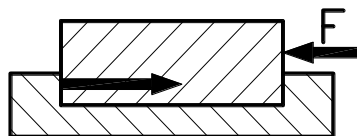
1. ábra Erővel záró kötés elvi vázlata

Az erővel záró kötések családjába a csavarkötés tartozik. Polimer termékek esetében a csavarkötésnek többféle típusa alkalmazható. Amennyiben a termékek alkatrészeinek csatlakozása kis igénybevételnek van kitéve, úgy a kötések kialakítása önmetsző fémcsavarok segítségével valósítható meg.

A csavarkötések alkalmazásakor nemcsak önmetsző csavarokat alkalmazhatunk, hanem speciális betétek (*insertek*) alkalmazásával lehetőség nyílik metrikus csavarmentes kötések kialakítására. Ezeknek előnye, hogy oldhatóak és nagyobb kötésszilárdságot biztosítanak, mint az önmetsző csavarok. Ezt a tulajdonságukat azzal érik el, hogy az insertek nagy felületen illeszkednek a műanyag termékek falába és érdesített felületükön keresztül nagy erőhatásoknak is ellenállnak. Az *insertek* utólagos megmunkálással: sajtolással, pneumatikus vagy elektromos berendezések, illetve ultrahanghegesztő készülék alkalmazásával illeszthetők be a műanyag termékekbe, de készülhetnek úgy is, hogy a fröccsöntő szerszámba előre belehelyezett *insertre* ráfröccsöntik a műanyagot.

2.2. Alakkal záró kötések

Az alakkal záró kötések alapvető tulajdonsága, hogy a kötést a két (vagy több) elem geometriai kialakítása biztosítja, amely meggátolja az elmozdulást (2. ábra). A csavarkötéseknél leírtakhoz hasonlóan, az alakkal záró kötéseknel is lehetséges különböző anyagokat összekötni.

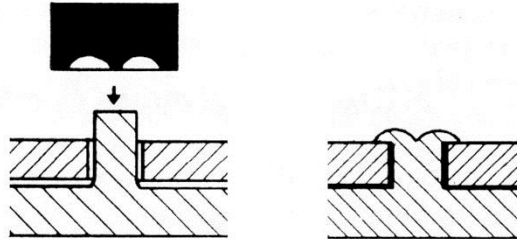


2. ábra Alakkal záró kötés elvi vázlata

2.2.1. Szegecskötések

A szegecskötések alkalmazásával nemcsak a polimer termékek saját anyagai között tudunk kapcsolatot létesíteni, hanem más típusú műanyagok, illetve fémek is összekapcsolhatók ezzel az eljárással. A módszer előnye, hogy gyors, és olcsó. A legnagyobb hátránya, hogy a kialakult kötésszilárdság jóval kisebb a gyakorlatban alkalmazott más kötéstípusoknál, illetve a kötés nem oldható (csak roncsolással). További negatívumként említhető meg a technológia esztétikai hátránya, ami a termék versenyképességét nagyban befolyásolja.

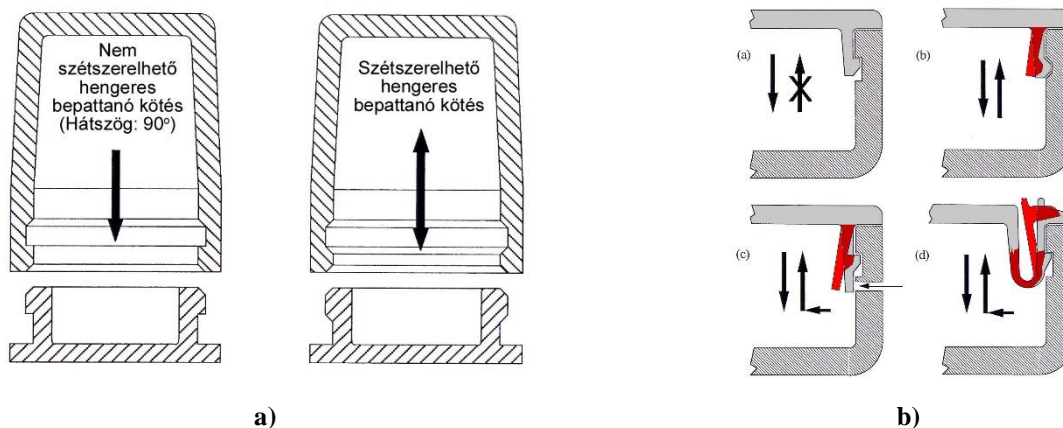
A saját anyaggal való kötéskialakítás során az egyik darabon kialakított ellapítandó csapra illesztjük a furattal ellátott ellendarabot, majd a felmelegített szerszám által kifejtett nyomás hatására a gyengén megolvadt anyag felveszi a szerszám alakját és létrejön a kötés (3. ábra).



3. ábra Szegecselési eljárás hőre lágyuló műanyagra

2.2.2. Bepattanó kötés

A műanyagoknál igen gyakori a bepattanó kötés. A kötés kialakításakor a két alkatrész túlfedéssel csatlakozik, miközben mindkettő, de legalább az egyik rugalmasan deformálódik, amíg az alakváltozás egyenlő lesz a túlfedés mértékével. A kötés létrejöttével az alkatrészek újra terheletlen állapotba kerülnek vissza. A bepattanó kötések az oldhatóság szempontjából oldható- és nem oldható kötésekre csoportosíthatók. Az oldható kötéseknel az összeszereléshez és a bontáshoz szükséges erőknek a hatásvonala megegyezik. A nem oldható (90°-os hátszögű) kötésnél szükség van viszont egy olyan erőre, ami a szerelési hatásvonalra merőleges irányú és a bepattanó részt a helyzetéből kitéríti (4. ábra). A bepattanó kötés alkalmazása csak nagysorozatú gyártás esetén gazdaságos, a bonyolult szerszámalkalítás magas költségvonzata miatt. A kötés előnye viszont az, hogy az alkatrészek közötti kapcsolat a szerelés során gyorsan és egyszerűen létrejön.



4. ábra Bepattanó kötések

2.3. Anyaggal záró kötések

Az anyaggal záródó kötések családjába tartoznak a ragasztott és a hegesztett kötések.

2.3.1. Ragasztott kötések

A ragasztás két szilárd test összeerősítését jelenti ragasztó segítségével. A ragasztott kötések szilárdságát döntően két erőtypus adja: a ragasztandó anyagok, valamint a ragasztó belső szilárdsága, kohéziója, és a ragasztandó anyag és ragasztó határfelületén fellépő erőhatások, az adhézió. Jó ragasztott kötésben az adhéziós erők legalább olyan nagyok, mint a kohéziós erők, azaz a ragasztott kötés szétszakadása a ragasztott darabok anyagában vagy a ragasztóban magában bekövetkezett szakadás (kohéziós szakadás) miatt következik be, de nem a ragasztó és valamely felület elválása miatt (adhéziós szakadás).

Ragasztással különböző nemű anyagok (fém, műanyag, fa, üveg, stb.) egymáshoz kötése is megvalósítható. A ragasztott kötésben a terhelés felületen adódik át és nem pontszerűen, mint pl. csavarkötésnél vagy vonalszerűen, mint pl. hegesztett kötésnél, így adott terhelés mellett a fajlagos terhelések lényegesen kisebbek lesznek, mint az említett kötésekben. Ez lehetőséget ad súlycsökkentésre vagy akár a szerkezet nagyobb terhelhetőségére. Ragasztással azon túl, hogy két elem összekötése történik valamilyen ragasztóval, azaz polimerrel, egyben szigetelés is (nedvesség, rezgés, hő, elektromos, stb.) megvalósul a két ragasztott fél között.

A ragasztott kötés mivel felületi kötés, így a felület tisztasága elsődleges fontosságú a ragasztás jósága szempontjából! Jellemzően a ragasztott kötések nem oldhatók csak roncsolás útján, ami a javíthatóságot nehezíti.

A ragasztási technológiákat alapvetően két nagy csoportba lehet sorolni: ragasztószalagos (öntapadó ragasztós) technológiák, illetve folyékony ragasztós technológiák. Ez utóbbi csoporton belül beszélhetünk térhálósodó és nem térhálósodó ragasztókról.

A nem térhálósodó ragasztók csoportjába tartoznak az alábbi ragasztók:

- *Oldószeres*: Az oldószeres ragasztók kétféle típusban fordulnak elő. A *kötőanyag nélküli* oldószeres ragasztásnál interdiffúzió jön létre az összeragasztandó polimerek felületei között és csak saját anyag ragasztható az összeférhetőség miatt. Az oldószeres ragasztók másik csoportját a *kötőanyagot tartalmazó* (általában polimer alapú) ragasztóanyagok alkotják. Jellemzően a

felhordott ragasztó oldószerének kipárolgását követően, még a ragasztó aktív idején belül kell a ragasztást végre hajtani, azaz a két felet zárni, kötésbe hozni.

- *Ömledékrasztó (hot-melt)*: Az ömledékrasztók esetében a kötés a ragasztóanyagnak megfelelő hőmérsékletre való melegítése után hozható létre. Az ömledékrasztók előnye a gyors, termelékeny, oldószermentes ragasztás.

A térhálósodó ragasztók csoportjába tartoznak az alábbi ragasztók:

- *Kétkomponensű ragasztók*: A ragasztó két komponensét (ragasztó + edző) felhasználás előtt megfelelő arányba kell összekeverni, mely során elindul a térhálósodás. Ilyenkor a ragasztást egy térhálósodó műanyag polimerizációja hozza létre. Ilyen típusú ragasztók pl.: epoxi, poliuretán, akril 2K ragasztók stb.
- *Ciano-akrilátok („pillantrasztók”)*: A ragasztó kikötéséhez, nedvesség szükséges, mely a polimerizáció beindulását blokkoló anyagok „semlegesítéséhez” kell.

Az itt felsoroltakon kívül természetesen számos más kötési mechanizmus is létezik, amelynek hatására a kötés kialakul, például a fénysugárzás- (UV ragasztók), emelt hőmérséklet- (1K szerkezeti ragasztók), vagy a levegő kizárásának hatására (anaerob ragasztók) kötő rendszerek.

2.3.2. Hegesztett kötések

Csak a **hőre lágyuló** polimerek hegeszthetők (lineáris, illetve elágazott óriásmolekulákból állnak). Ezeknél az anyagoknál van arra lehetőség, hogy a molekulák az őket összekötő másodlagos kötések felszakadásával egymás közé diffundáljanak.

Polimerek hegesztésénél minél nagyobb szilárdságú, kohéziós kapcsolat létrehozása a cél. A polimerek és fémek jól ismert anyagszerkezeti eltérése azonban számos problémát vet fel. A polimerek hegesztésén kizárólag a hőre lágyuló polimerek olyan kötését értjük, amely **hő és nyomás** együttes hatására jön létre hegesztőanyag alkalmazásával vagy anélkül. A hegedés létrejöttéhez szabad részecskemozgás, vagyis folyékony halmazállapot szükséges. Ilyenkor a láncmolekulák hőmozgása oly mértékben fokozódik, hogy képes felszakítani az óriásmolekulák közötti szekunder kapcsolatokat (létrejön a Brown-féle makrohőmozgás), ami az anyag folyékony halmazállapotához vezet.

A hegesztés feltételei:

- **Összeférhető anyagok** (közel azonos molekulaszervezet),
- Optimális időtartamú, a kellő viszkozus, ugyanakkor rugalmas fizikai állapotokat biztosító **hőmérséklet**,
- A hegesztendő felületek molekuláris közelségét és a folyamat optimális lefutását biztosító **nyomás** megfelelő **idő**intervallumon keresztül,
- A hegesztett kötés **lehűlése** a kezelhetőségi állapot bekövetkeztéig.

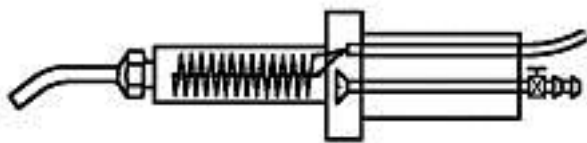
A legfontosabb hegesztési technológiákat három csoportba sorolhatjuk a hőátadás módja szerint:

- hővezetési,
- súrlódási,
- sugárzatos.

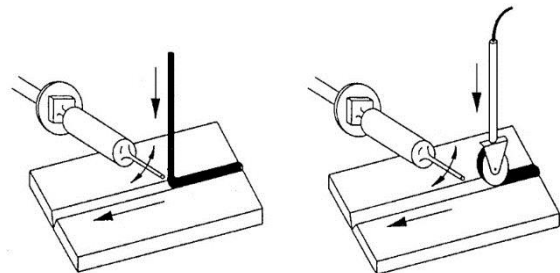
2.3.2.1. Hővezetési hegesztések

Hővezetéssel történő hegesztés esetén fölhevítenek egy testet, és hőjét átvezetik az összeerősítendő alkatrészek kötési helyeire. Mind a hőforrás, mind a hőátadó anyag lehet légnemű, folyékony vagy szilárd halmazállapotú.

FORRÓGÁZOS HEGESZTÉS: Az eljárás lényege, hogy a felhevített gázzal a plasztikus állapotig melegítik a hegesztendő felületeket és a hegesztő anyagot úgy, hogy azok molekulaláncai képesek legyenek egymásba diffundálni. A hőátadó közeg általában levegő, azonban ún. inert gázokkal (pl. nitrogénnel, szén-dioxiddal) is lehetséges a hegesztés. A hegesztésre használt gázt elektromosan vagy gázzal fűtött kézi hegesztőkészülékben hevítik fel, és fűvőkán keresztül vezetik a hegesztési helyhez (5. ábra).



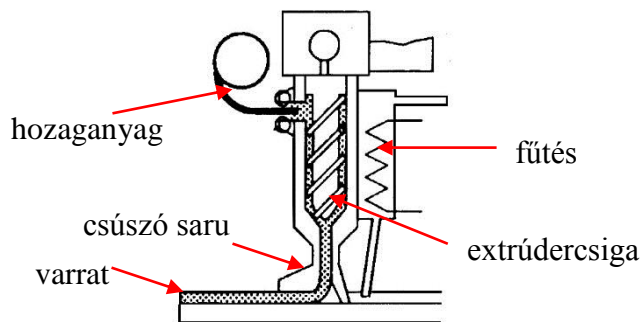
5. ábra Kézi hőlgfűvős hegesztőgép



6. ábra A hegesztés menete

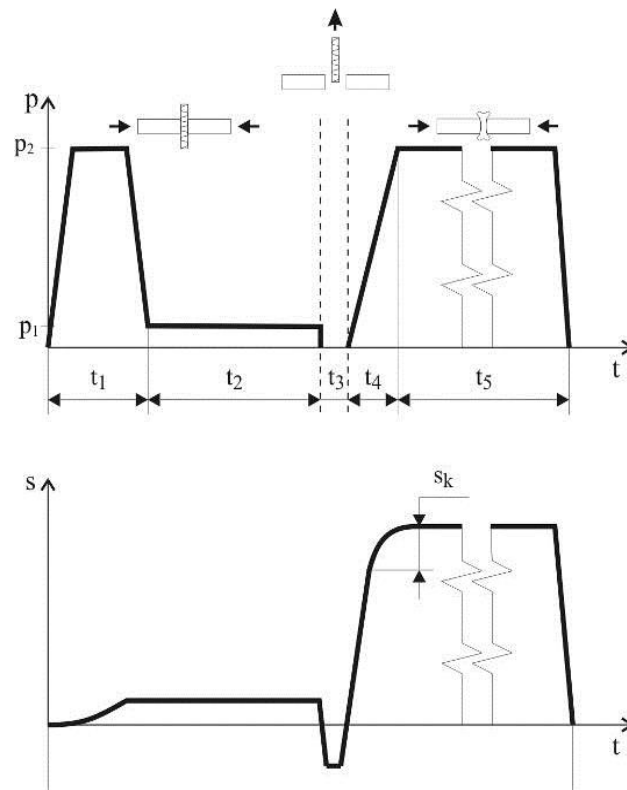
A forrógázos hegesztés esetében a varrat létrehozásához hegesztópálca formájában hegesztő hozaganyagot használnak. Fontos, hogy mind a hegesztendő, mind pedig a hozaganyag azonos reológiai állapotban legyen, ezért a hegesztőgép levegőáramát úgy kell beállítani, hogy az összehegeszteni kívánt felületeket és a közéjük helyezett hegesztópalcát közel azonos mértékben melegítse fel. A hegesztéshez használatos hozaganyagot kemény anyagok esetében kézzel, lágy anyagok esetében görgőn keresztül vezetik a hegesztés helyére (6. ábra).

FORRÓGÁZOS EXTRÚZIÓS HEGESZTÉS: A technológia célja nagytérfogatú varratok készítése. Az elv azon alapul, hogy a hegesztő hozaganyagot ömledék formájában juttatják a kialakított varratprofilba. A hozaganyag extrudált pálca formájában kerül a hegesztőgépbe, ahol forró gázáram segítségével előmelegítik, megömlesztik, majd forgó extrúdercsiga segítségével bepréselik a varratébe. A plasztikus anyag és a két hegesztendő felületek közötti nyomást csúszó saruval biztosítják, amivel a varratfelület minősége is megbízhatóbb (7. ábra).



7. ábra Extrúziós hegesztőkészülék

TÜKÖRHEGESZTÉS: A fűtőelemes tompahegesztés – ami tükröhegesztésként is ismert –, az egyik legfontosabb eljárás műanyagok sorozatgyártásában, illetve nagy tömegben történő hegesztésekor, mert nagy kötések kialakítására alkalmas. Az eljárás alkalmazási területe két fő részre osztható: csőhegesztés (pl.: polietilén, polipropilén) és egyéb termékek hegesztése (pl.: autóiparban üzemanyagtartályok, akkumulátorok, hátsó lámpák stb.). Az iparban ennek a hegesztési technológiának ilyen széleskörű elterjedését az eljárás nagyfokú automatizálhatósága és egyszerű technológiai felépítése tette lehetővé. Általánosan elmondható, hogy az eljárás nagy méret- és formaskálán alkalmazható, de ciklusideje hosszú. A tükröhegesztési technológiát a két hegesztendő munkadarab, valamint a hegesztőtükör közötti nyomásviszonyokkal lehet jól szemléltetni (8. ábra).



8. ábra Nyomásviszonyok és szerszámmozgás a tükörhegesztés során az idő függvényében

A hegesztés legelső művelete a berendezésbe befogott csővégek homloklületeinek gyalulása egy körkörösén mozgó késekkel ellátott gyalugép segítségével. E művelettel az összekötendő csővégek egymáshoz történő párhuzamossága és a felületek tisztasága egyidejűleg biztosítható.

Az általános tükörhegesztés esetében (8. ábra) a hegesztendő darabok melegítése két fázisra bomlik: az első fázisában a munkadarabokat az adott hőmérsékletre fűtött hegesztőtükörhöz szorítják előbb nagyobb (p_2), majd kisebb (p_1) nyomáson, így az anyag tökéletesen átmelegszik, de a megömlött anyag a hegesztési felület alól nem torlódik ki. A hegesztés következő fázisában a fűtőelemet eltávolítják a munkadarabok közül, majd a csővégeket egymáshoz szorítják. A lehűlési idő (t_5) elteltével, a kötés létrejötté után az összehegesztett darabot kiveszik a hegesztőkészületről.

2.3.2.2. Súlylódáson alapuló hegesztés

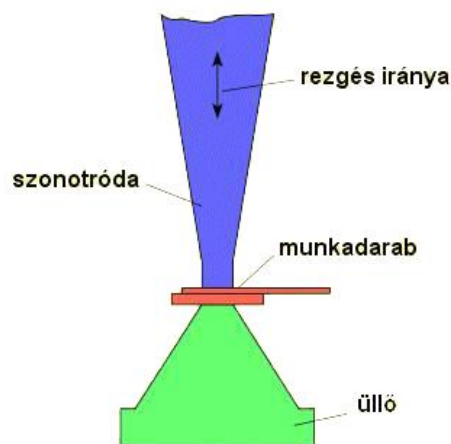
Az ebbe a csoportba sorolt eljárások a hegesztéshez szükséges hőt mechanikai vagy villamos energia felhasználásával magában a hegesztett anyagban hozzák létre, tehát semmilyen külső

hőforrást nem igényelnek. A szükséges hegesztési hőmérsékletet az összekötendő felületek egymás közti súrlódása kelti.

ROTÁCIÓS DÖRZSHEGESZTÉS: A módszer lényege, hogy az összehegesztendő alkatrészek egyike gyors fordulatú forgó mozgást végez, miközben megfelelő nyomással a másik, rögzített (álló) alkatrészhez nyomják. A felületeken keletkező súrlódási hő hatására a felületek ömledékállapotba kerülnek. Ekkor a forgást megszüntetve, a hegesztendő darabokat állandó nyomás mellett lehűtik.

VIBRÁCIÓS HEGESZTÉS: Hasonló eljárás a rotációs hegesztéshez, ahol a szükséges hő a súrlódásból származik. Az alkatrészek egymáshoz szorítva apró relatív, transzlációs elmozdulásokkal hőt gerjesztenek. A rezgést elektromágnesek hozzák létre, egy rugókra felfüggesztett eszközön. A mozgást hirtelen leállítva a megolvadt felületek összehegednek. A módszer a nem forgásszimmetrikus darabok hegesztésére alkalmazható, amennyiben az egyes részek néhány fokkal elfordíthatók egymáshoz képest. Az elfordítás helyett a súrlódást excentrikus mozgással, továbbá tengely vagy keresztirányú egyenes vonalú mozgással is létre lehet hozni, ezért ezeknek a kis mozgásokhoz a varratkialakítás során teret kell biztosítani.

ULTRAHANGHEGESZTÉS: Ennél az eljárásnál a hegeszthetőség kritériuma a polimer mechanikai rezgéseket csillapító képessége. A csillapítás a rezgési energiát csökkenti, miközben az anyagban hő fejlődik. A mechanikai csillapítás minden hőre lágyuló polimernél olyan nagy, hogy az ultrahanghegeszthetőség fennáll. Az ultrahanggal történő műanyaghegesztés elvét a 9. ábra szemlélteti.



9. ábra Ultrahanghegesztés elvi ábrája műanyagoknál

Egy ultrahanghegesztő berendezés lényegében két részre osztható: a hegesztő asztal (üllő), és a szonotróda. Az ultrahang frekvenciájú rezgés a következő módon jön létre: egy generátor a hálózati áramot nagyfrekvenciás váltakozó árammá alakítja át, amit a rezgés-átalakító (konverter) piezoelektromos anyagok felhasználásával mechanikai rezgéssé alakít át, azaz a váltakozó feszültség hatására periodikusan kitágul és összehúzódik. A rezgés amplitúdója általában túl kicsi a használhatósághoz, így további elem beiktatására van szükség (erősítő:booster). A szonotróda feladata, hogy a rezgéseket továbbítsa a hegesztendő munkadarabra.

A lágy termoplasztoknak, mint amilyen a lágy PE és PVC, olyan nagy a csillapítóképességük, hogy ezek a rezgési energiát csak igen rövid távolságra továbbítják, az ultrahanghegesztés ez esetben fóliákra és max. 3-6 mm anyagvastagságra korlátozódik. Az ultrahangot jól vezető polimerek (pl. HDPE, PP, ABS, PA) 6 mm-nél nagyobb lemez, illetve falvastagságok esetén is kitűnően hegeszthetőek.

2.3.2.3. Hegesztés sugárzással

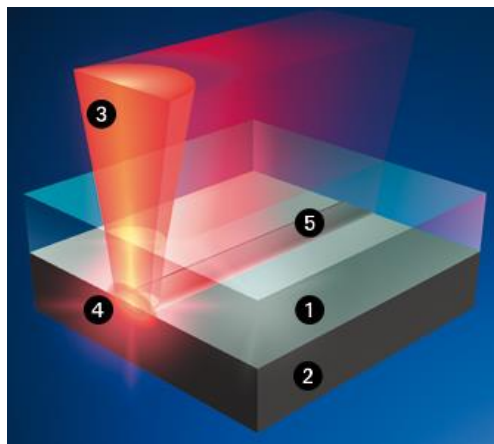
Sugárzásos hegesztésről van szó azokban az esetekben, amikor a hőenergiát nem valamely szilárd, folyékony vagy gáznemű anyag viszi át hővezetés vagy hőáramlás segítségével, hanem az energiaforrásból kibocsátott sugárzás a hegesztendő testre jutva ott bizonyos mértékben elnyelődik és az ott lévő anyagot megolvasztja. Ebbe a hegesztési csoportba tartoznak az infrasugaras, a nagyfrekvenciás (főként lágy PVC-nél) és a mikrohullámú hegesztések is.

LÉZERHEGESZTÉS: A fényforrások egy speciális típusa a lézer (**L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation = fénykibocsátás indukált emisszióval). Megkülönböztetünk folyadék-, szilárdtest- (pl.: rubin, ND:YAG) és gázlézereket (pl.:CO₂). A lézerek fénye monokromatikus (azonos hullámhosszú). A létrejött fényre jellemző a nagyfokú koherencia (szinkronban rezgő hullámokból áll), időbeli és térbeli rendezettség. A lézernyaláb keskeny és nagyon kis széttartású nyaláb. Csaknem vonalszerűen, gyakorlatilag párhuzamosan terjed (kis divergenciájú). A lézersugár, mivel energiasűrűsége igen nagy, kiválóan alkalmas különböző anyagok megmunkálására. Az adott felületre jutó energia megválasztásával meghatározhatjuk, hogy vágást, hegesztést, felületmódosítást (pl.: acél felületi edzése), vagy jelölést végzünk. Előnyei a nagy pontosság, a kis hatásterület, nagyfokú rugalmasság, valamint, hogy utólagos megmunkálást nem

igényel. Ma az iparban többnyire az Nd:YAG, CO₂ és dióda lézereket használnak. Teljesítményük a felhasználástól függően igen széles tartományban mozoghat.

Polimer szerkezeti anyagok lézersugaras hegesztése napjaink egyik legdinamikusabban fejlődő kötéstechológiája, köszönhetően széleskörű alkalmazhatóságának, precizitásának, illetve érintkezésmentes elvéből adódóan nagyfokú reprodukálhatóságának.

A lézersugaras hegesztés szabályozott hőbevitellel, kis deformációval és nagy hegesztési sebességgel történik. Lézerhegesztéskor a hő keltés folyamatában nagy szerepe van az anyag abszorpciós képességének, vagyis annak, hogy a lézersugár teljesítményének mekkora hányadát nyeli el a hegesztendő anyag. Ez az elnyelt energia fordítható a megmunkálás során a darabok megolvasztására. Az abszorpciós képességet használjuk ki polimerek átlapolt, ún. transzmissziós hegesztésénél is. Ez esetben a felső lemez a lézer hullámhosszán áteresztő, az alsó nem, így az energia a kettő érintkezési síkjában fog elnyelődni (10. ábra).



10. ábra A lézersugaras transzmissziós hegesztés általános elrendezése

**1: transzparens anyag; 2: abszorbens anyag; 3: lézersugár; 4: ömledék;
5: varrat**

3. A mérés során használt gépek, berendezések



ROTHENBERGER ROWELD P160B hőtükros csőhegesztő gép



HERRMANN ULTRASCHALL HiQ Evolution Speed Control ultrahanghegesztőgép



3M Scotch-Weld ömledékragasztó pisztoly

4. A témához kapcsolódó fontosabb szavak angolul, németül

Magyar	Angol	Német
Kötéstechnológia	Joint technology	Verbindungstechnik
Pattanókötés	Snap fit	Schnappverbindung
Csavarkötés	Threaded joints	Schraubverbindung
Szegecskötés	Riveted joints	Nietverbindung
Hegesztés	Welding	Schweissen
Forrógázos hegesztés	Hot-gas welding	Warmgas Schweissen
Extrúziós hegesztés	Extrusion welding	Extrusions Schweissen
Tükörhegesztés	Hot plate welding	Heizelementstumpfschweissen
Rotációs dörzshegesztés	Spin welding	Rotations-Reibschweissen
Vibrációs hegesztés	Vibration welding	Vibrations-Reibschweissen
Ultrahangos hegesztés	Ultrasonic welding	Ultraschall-schweissen
Lézerhegesztés	Laser welding	Laser-schweissen

5. Ajánlott irodalom

1. **Jordan Rotheiser:** *Joining of plastics. Handbook for designers and engineers*, Hanser Publishers, Munich 1999
2. **Czvikovszky T., Nagy P., Gaál J.:** *A polimertechnika alapjai*, Műegyetemi Kiadó, Budapest 2000 (455. oldal)
3. **Füzes L.:** *Műanyagok, anyag és technológia kiválasztás*, Bagolyvár Könyvkiadó, Budapest 1994
4. **Antal Gy., Fledrich G., Kalácska G., Kozma M.:** *Műszaki műanyagok gépészeti alapjai*, Minerva Könyvkiadó, Sopron 1997 (68. oldal)
5. **Molnár I., Petó E., Seder J., Csikai I.:** *Műanyagok hegedési folyamatai és a hegesztési eljárások problémái*, Műanyag és Gumi, 33, 1996 (339-348. oldal)
6. **Schwarz O., Ebeling F. W., Lüpke E., Schelter W.:** *Műanyag-feldolgozás*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1987 (240. oldal)
7. **G. Ezhard:** *Konstruieren mit Kunststoffen*, Hansen, München 1993 (310. oldal)

2. Hőtükros csőhegesztési eljárás ciklusdiagramja

Hegesztett cső átmérője: $d=$ [mm] SDR=Átmérő/falvastagság=

