



B5/T10

Változat: 1.1

Kiadva: 2019. szeptember 10.

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

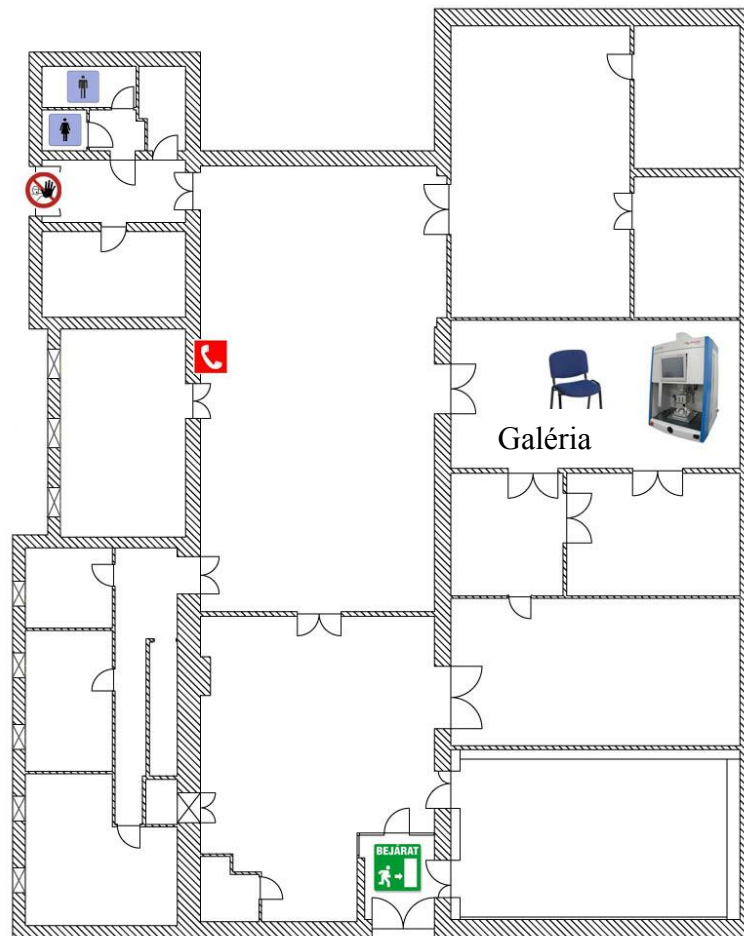
MT épület

Kötések

POLIMEREK KÖTÉSI TECHNOLÓGIÁI

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

A LABORGYAKORLAT HELYSZÍNE



**MT
épület**

TARTALOMJEGYZÉK

1. A LABORGYAKORLAT 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	15
4. A TÉMÁHOZ KAPCSOLÓDÓ FONTOSABB SZAVAK ANGOLUL, NÉMETÜL	15
5. AJÁNLOTT IRODALOM.....	16
MÉRÉSI JEGYZŐKÖNYV	17

1. A laborgyakorlat célja

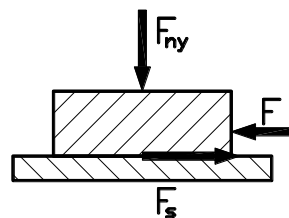
A laborgyakorlat célja a polimerek kötési technológiáinak bemutatása, illetve rendszerezése. A laborgyakorlaton megismerkedünk a polimerek kötéseinek csoportosítási rendszerével, létrehozunk különböző kötéseket, majd ezek teherbíró képességét nyíróvizsgálattal minősítjük, összehasonlítjuk. Az anyaggal záró kötési technológiák közül bemutatásra kerül a hőtükrös csőhegesztés, az ultrahanghegesztés, valamint különböző típusú ragasztóanyagokkal is készítünk kötéseket.

2. Elméleti háttér

A műanyag szerkezeti elemek kötéstípusai egyrésztől fizikai vagy kémiai hatáselvük szerint csoportosíthatók: ennek megfelelően megkülönböztetünk erővel-, alakkal- és anyaggal záró kötéseket (fizikai hatáselv), és adhéziós, valamint kohéziós kötéseket, amiket az atomok között kialakuló kémiai kötések típusa alapján lehet megkülönböztetni egymástól (kémiai hatáselv). A kötéseket emellett oldhatóságukkal (roncsolásmentesen oldható, illetve nem oldható kötések) is jellemezhetjük, amely újrahasznosíthatóságukat is befolyásolja.

2.1. Erővel záró kötések

Az erővel záró kötések létrejöttéhez olyan erőhatások fennállása szükséges, amelyek eredményeként súrlódásos kapcsolat jön létre a két test között. Ez a súrlódási erő (F_s) biztosítja a testek közötti elmozdulás-mentes kapcsolatot (1. ábra). Az erővel záró kötések családjába a csavarkötés tartozik.



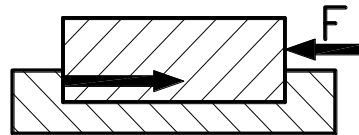
1. ábra Erővel záró kötés elvi vázlata

A csavarkötések legfontosabb előnye, hogy alkalmazásával oldható kötést lehet kialakítani, emellett különböző anyagpárosításoknál (pl.: fém-műanyag szerkezetek összekötésekor) is jól alkalmazható. Polimer termékek esetében a csavarkötésnek többféle típusa alkalmazható. Amennyiben a termékek alkatrészeinek csatlakozása kis igénybevételnek van kitéve, úgy a kötések

kialakítása önmetsző fémcsavarak segítségével is megvalósítható. Speciális betétek, ún. *inzertek* alkalmazásával lehetőség nyílik metrikus csavarmentes kötések kialakítására. Ezek előnye, hogy oldhatóak és nagyobb kötésszilárdságot biztosítanak, mint az önmetsző csavarok, mivel az inzertek nagy felületen illeszkednek a műanyag termékek falába és érdesített felületükön keresztül nagy erőhatásoknak is ellenállnak. Az inzertek utólagos megmunkálással, például pneumatikus sajtolással vagy ultrahanghegesztő készülék alkalmazásával illeszthetők be a műanyag termékbe, de készülhetnek úgy is, hogy a fröccsöntő szerszámba a fröccsöntési ciklus előtt behelyezett inzertre ráfröccsöntik a műanyagot. A csavarkötések hátránya, hogy a kötés létrehozása előtt megmunkálást (furatolást, inzert besajtolást) igényel, az összekötött szerkezet össztömegét megnöveli és feszültséggyűjtő helyként funkcionál.

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). Az alakkal záró kötési technológiák közé a szegecskötések és a bepattanó kötések tartoznak.



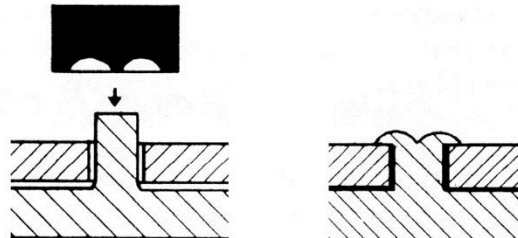
2. ábra Alakkal záró kötés elvi vázlata

2.2.1. Szegecskötések

A szegecskötések alkalmazásával nemcsak ugyanazon fajtájú polimerből készült termékek között tudunk kapcsolatot létesíteni, hanem különböző típusú műanyagok, vagy akár teljesen eltérő szerkezeti felépítésű anyagok (pl. fémek és polimerek) is összekapcsolhatók. A módszer előnye, hogy gyors és olcsó; hátránya, hogy a kialakult kötésszilárdság jóval kisebb a gyakorlatban alkalmazott más kötéstípusoknál, a kötés roncsolásmentesen nem oldható, valamint nem esztétikus.

Polimer anyagok esetén a saját anyag felhasználásával történő szegecskötéseket használják elterjedten, mivel a polimerek formázása és akár megömlesztése viszonylag kis hőmérsékleten is elvégezhető. Ekkor az egyik darabon elláptandó csapot alakítanak ki a darab gyártása során, erre illesztik a furattal ellátott ellendarabot. Ezután egy felmelegített szerszám segítségével nyomást fejtenek ki a csapra, ami könnyen formázható állapotba kerül, felveszi a szerszám alakját, kitölti a rendelkezésre álló réseket, majd megszilárdul, létrejön a kötés (3. ábra). Szegecskötés létrehozható

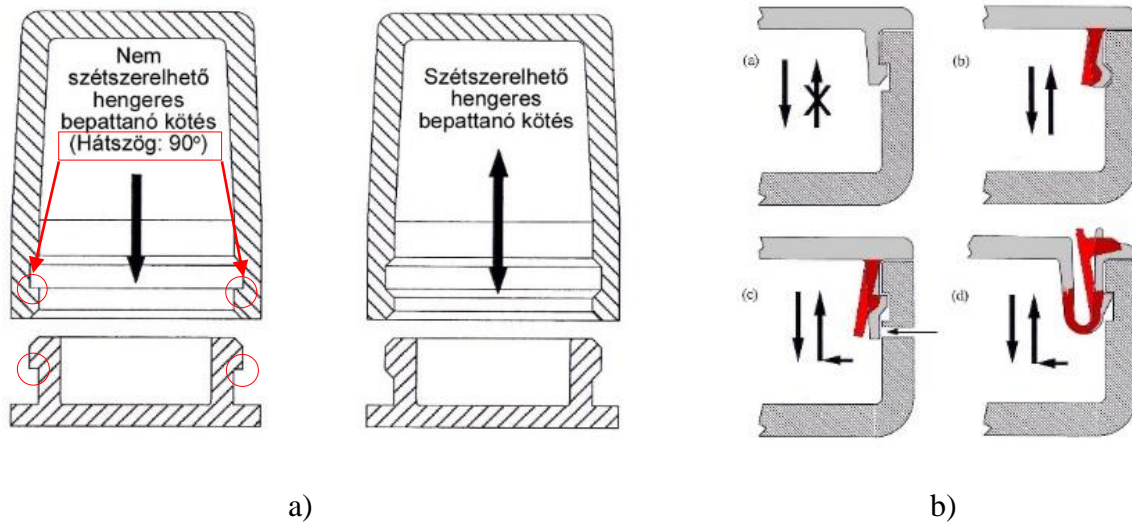
szabványos fém szegecs felhasználásával is, ezt legtöbbször hidraulikus prés vagy pneumatikus eszközök segítségével sajtolják át az összekötendő anyagokon, ennek hatására a szegecs deformálódik, alakkal és erővel egyszerre záró kötés jön létre.



3. ábra Szegecselési eljárás elvi vázlata hőre lágyuló műanyagra

2.2.2. Bepattanó kötés

A műanyagoknál igen gyakori a bepattanó kötés alkalmazása. A kötés kialakításakor a két alkatrész között túlfedés áll fenn, mindkettő rugalmasan deformálódik, amíg az alakváltozás egyenlő lesz a túlfedés mértékével, az alkatrészek „összepattannak”, terheletlen állapotba kerülnek. A bepattanó kötések oldhatóság szempontjából oldható- és nem oldható bepattanó kötésekre csoportosíthatók, ezek között a deformálódó elem alakjának kialakítása, a hátszög nagysága alapján lehet különbséget tenni. Az egyszerű oldható kötéseknel a hátszög 90° -nál kisebb, az összeszereléshez és a bontáshoz szükséges erő hatásvonala megegyezik. A komplexebb oldható kötéseknel a hátszög nagysága 90° , azonban a szerkezet és/vagy a deformálódó elemek geometriai kialakításának köszönhetően a deformálódó elemre kifejtett, a szerelési hatásvonalra merőleges irányú erő alkalmazásával a kötés továbbra is oldható marad. A nem oldható bepattanó kötések esetén a szerkezet úgy van kialakítva, hogy a 90° -os hátszögű deformálódó elemhez nem férünk hozzá (4. ábra). A bepattanó kötés előnye, hogy az alkatrészek gyorsan és egyszerűen szerelhetők; hátránya, hogy alkalmazása csak nagysorozatú gyártás (fröccsöntés) esetén gazdaságos, a bonyolult szerszámkialakítás magas költségvonzata miatt.



4. ábra Bepattanó kötések

2.3. Anyaggal záró kötések

Az anyaggal záró kötéstechnológiák közé a ragasztás és a különböző hegesztési technológiák tartoznak.

2.3.1. Ragasztott kötések

A ragasztás során két szilárd testet ragasztóanyag segítségével erősítünk egymáshoz. A ragasztott kötések szilárdságát döntően két erőtypus befolyásolja: a ragasztandó anyagok, valamint a ragasztó belső szilárdsága, ún. **KOHÉZIÓ**ja, és a ragasztandó anyag és ragasztó határfelületén fellépő erőhatások, az ún. **ADHÉZIÓ**. A ragasztandó felületek tisztasága elsődleges fontosságú a ragasztás minőségének szempontjából.

Egy jó minőségű ragasztott kötésben az adhézión erők legalább olyan nagyok, mint a kohéziós erők, azaz a ragasztott kötés tönkremenetele az alkatrészek anyagában vagy a ragasztóanyagban megy végbe (ez az ún. kohéziós tönkremenetel). Amikor a ragasztott felületek kohéziós tönkremenetel nélkül elválnak egymástól, akkor a tönkremenetel adhézión.

A ragasztott kötések előnyei...:

- + Ragasztással különböző szerkezeti felépítésű anyagok (fém, műanyag, fa, üveg, stb.) egymáshoz kötése is megvalósítható,
- + a terhelés nagy felületen adódik át, emiatt jobban eloszlik, a fajlagos terhelés lényegesen kisebb. Ez súlycsökkentésre (geometriai változtatások, más anyagok használata) vagy akár a szerkezet terhelésének növelésére is lehetőséget ad,

- + továbbá ragasztással két alkatrész összekötésén túl egyben szigetelés (nedvesség, rezgés, hő, elektromos, stb.) is megvalósítható.

... és hátrányai:

- a ragasztott kötések csak roncsolásos módszerrel oldhatók, ami a javíthatóságukat nehezíti,
- a felületek előkészítése, tisztítása és ragasztása során egészségre, környezetre káros anyagok is felszabadulhatnak.

A ragasztási technológiákat alapvetően két nagy csoportba lehet sorolni: ragasztószalagos (öntapadó ragasztós) technológiák, illetve folyékony ragasztós technológiák, ez utóbbi csoporton belül további rendszerezés lehetséges az alapján, hogy az alkalmazott ragasztóanyag térhálósodó, vagy nem térhálósodó típusú.

A nem térhálósodó ragasztók csoportjába az alábbi ragasztók tartoznak:

- Az OLDÓSZERES RAGASZTÓK, amelyeknek kétféle típusa van:
 1. A *kötőanyag nélküli* oldószeres ragasztók, amelyek csak hőre lágyuló polimerek ragasztásához használhatók. Ennek során az oldószer feloldja a ragasztandó anyagok egy vékony felületi rétegét, amelyek megfelelő összenyomó erő esetén összekapcsolódnak, a polimer molekulaláncok között interdiffúzió jön létre: az eredetileg két különböző anyagrészben található molekulaláncok áthatolnak az anyagok eredeti határolóvonalán, majd összeakadnak. Kötőanyag nélküli oldószeres ragasztóval csak a ragasztóanyagnak megfelelő, azonos anyagból készült testek ragaszthatók össze, mivel a molekulaláncok összeférhetősége alapkövetelmény ezen ragasztóanyagcsalád használatakor.
 2. A *kötőanyagot tartalmazó* oldószeres ragasztóanyagok esetén a kötés a ragasztandó felületekre felhordott ragasztó oldószerének kipárolgását követően, a rövid oligomer (maximum néhány tíz molekula hosszúságú) láncegységek hosszú molekulalánccá történő összekapcsolódása (a ragasztó „kikeményedése”, polimerizációja) folytán jön létre. Ezen ragasztóanyaggal már különböző fajtájú polimerek is összeragaszthatók, hiszen az összekötött testek közötti kapcsolatot a ragasztóanyag biztosítja és határozza meg.
- Az ÖMLEDÉKRAGASZTÓK: Az ömledékrasztók esetében a kötés a ragasztóanyag megfelelő hőmérsékletre való felmelegítése után hozható létre, kihasználva az ömledék állapotban lévő polimerek ragacsosságát, jó tapadóképeségét. Az ömledékrasztók előnye a gyors, termelékeny,

oldószermentes ragasztás, hátránya a korlátozott kötésszilárdság és bizonyos műanyagok (tipikusan a poliolefinek: PE, PP) rossz ragaszthatósága.

A térhálósodó ragasztók csoportjába tartoznak az alábbi ragasztók:

- A KÉTKOMPONENSŰ (2K) RAGASZTÓK: A ragasztóanyag két komponens, egy folyadék vagy gél állapotú oligomer (maga a ragasztóanyag), valamint ennek polimerizációját végző ún. edző anyag megfelelő arányban történő összekeverésével állítható elő. Ilyen típusú ragasztók például az epoxi, poliuretán, valamint az akrilbázisú 2K ragasztók.
- A CIANO-AKRILÁTOK („PILLANATRAGASZTÓK”): A két komponens a csomagolásban előre összekeverve áruulják, a ragasztóanyag polimerizációját egy nedvességre érzékeny adalékanyag (a második komponens) gátolja meg. Ennek hatását a levegő nedvességtartalma képes semlegesíteni, ami beindítja az igen gyors, néhány másodperc alatt lejátszódó polimerizációs láncreakciót a ragasztóanyagban.

Az itt felsoroltakon kívül számos más mechanizmus is létezik, amelyek felhasználásával ragasztott kötés alakítható ki, például ilyen a fénysugárzás (UV ragasztók), az emelt hőmérséklet (1K szerkezeti ragasztók), vagy az oxigénmentes környezet (ún. anaerob ragasztók).

2.3.2. Hegesztett kötések

A polimerek hegesztésén kizárólag a hőre lágyuló polimerek olyan kötését értjük, amely **hő és nyomás** együttes hatására jön létre, összeférhető (kompatibilis) anyagok között, hegesztóanyag alkalmazásával vagy anélkül. A hegesztett kötés kialakításához szabad részecskemozgás, vagyis folyékony halmazállapot szükséges, amely hőbevitellel, a polimer láncmolekulák között szilárd állapotban fennálló szekunder kötések felszakításával érhető el. A hegesztett alkatrészekre kifejtett nyomás elősegíti a polimer láncok egymás közé diffundálását, amely a nagy szilárdságú kohéziós kapcsolat alapja.

A hegesztés feltételei:

- **Összeférhető anyagok** (közel azonos molekulaszerkezet),
- A kellő viszkozitás, ugyanakkor rugalmas fizikai állapotokat biztosító **hőmérséklet**,
- A hegesztendő felületek közelségét biztosító, megfelelő ideig fenntartott **nyomás**,
- A hegesztett kötés **kontrollált lehűtése**.

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

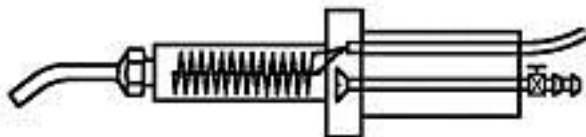
- hővezetéses,
- súrlódásos,
- sugárzásos.

2.3.2.1. Hővezetéses hegesztési eljárások

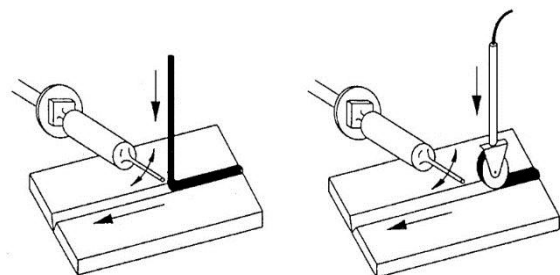
Hővezetéssel történő hegesztés esetén mind a hőforrás, mind a hőátadó anyag lehet légnemű, folyékony vagy szilárd halmazállapotú.

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

Forrógázos hegesztés esetén a varrat létrehozásához hegesztőpálca formájában hozaganyagot használnak. Fontos, hogy mind a hegesztendő, mind pedig a hozaganyag azonos reológiai állapotban legyen a folyamat során, ezért a hőlégfúvó levegőáramát, valamint mozgatási sebességét úgy kell beállítani, hogy az összehegeszteni kívánt felületeket és a köztük helyezett hegesztőpálcát közel azonos mértékben melegítse fel. A hozaganyagot kemény anyagok esetén kézzel, lágy anyagok esetén görgőn keresztül vezetik a hegesztés helyére (6. ábra).

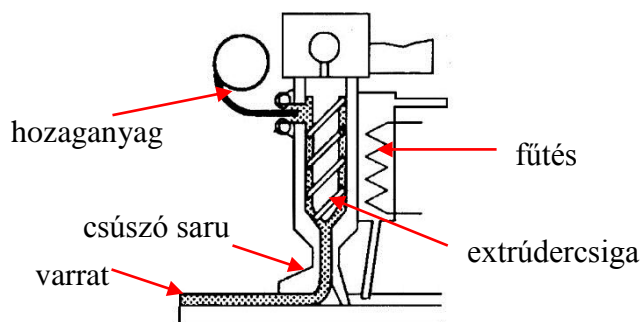


5. ábra Kézi hőlégfúvós hegesztőtű



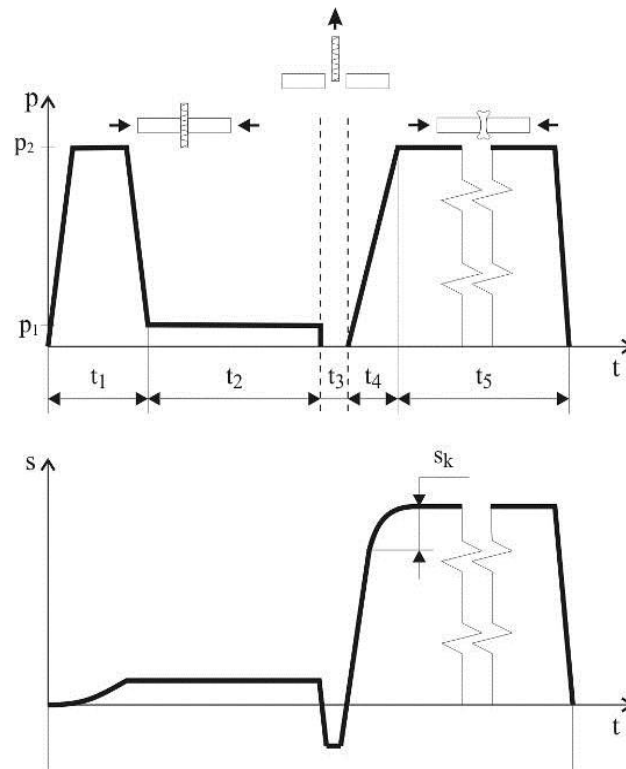
6. ábra A hegesztés menete

- **FORRÓGÁZOS EXTRÚZIÓS HEGESZTÉS:** A technológia célja nagyterfogatú varratok készítése hozaganyag segítségével, amit ömledék formájában juttatnak az előkészített varratprofilba. A hozaganyag az összekötésre kerülő alkatrészek anyagával kompatibilis extrudált zsinór, amit az extrúziós hegesztőgépben forró gázáram vagy palástfűtés segítségével előmelegítenek, majd forgó extrudercsiga segítségével megömlesztik és bepréselik a varratébe. A plasztikus anyag és a hegesztendő felületek közötti nyomást a mini-extrúder végére szerelt csúszó saruval biztosítják, amivel a varratfelület minősége, kinézete is befolyásolható (7. ábra).



7. ábra Extrúziós hegesztőkészülék

- **TÜKÖRHEGESZTÉS:** A fűtőelemes tompahegesztés – ami tükröhegesztésként is ismert – az egyik legfontosabb eljárás műanyag termékek sorozatgyártásában, illetve nagy tömegben történő hegesztésekor, mert nagyméretű kötések kialakítására alkalmas, jól automatizálható, kis bekerülési költségű és egyszerű, azonban hátránya, hogy ciklusideje hosszú. Az eljárás alkalmazási területe két fő részre osztható: csőhegesztés (pl.: polietilén, polipropilén) és egyéb termékek hegesztése (pl. az autóiparban üzemanyagtartályok, akkumulátorok, hátsó lámpák stb.). A tükröhegesztési technológiát a két hegesztendő munkadarab közötti távolság megváltozásával („s”), valamint a munkadarabok és a hegesztőtükör közötti nyomásviszonyokkal („p”) lehet jól szemléltetni (8. ábra).



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

A hegesztés legelső művelete a berendezésbe befogott csővégek homloklapjainak gyalulása egy körkörös mozgó, késekkel ellátott gyalugép segítségével. E művelettel az összekötendő csővégek párhuzamossága és a felületek tisztasága egyidejűleg biztosítható. Az általános tükörhegesztés esetében (8. ábra) a hegesztendő darabok melegítése két fázisban történik: az első fázisban a munkadarabokat az adott hőmérsékletre fűtött hegesztőtükörhöz szorítják előbb nagyobb (p_2 , t_1 ideig), majd kisebb (p_1 , t_2 ideig) nyomáson, így a kötési zónához közeli anyagréteg tökéletesen átmelegszik. A második fázisban a fűtőelemet eltávolítják a munkadarabok közül (t_3 időtartomány), majd a csővégeket egymáshoz szorítják (t_4 idő alatt, p_2 nyomáson). A lehülési idő (t_5) elteltével a kötés létrejött, az összehegesztett darabot el lehet távolítani a hegesztőkészületről.

2.3.2.2. Súrlódáson alapuló hegesztési eljárások

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

szükség: a hegesztéshez elegendő mértékű hőmérsékletet az összekötendő és egymáshoz szorított felületek között kialakuló súrlódás kelti.

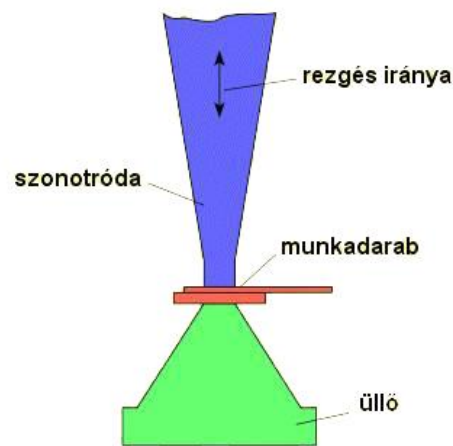
- **ROTÁCIÓS DÖRZSHEGESZTÉS:** A módszer lényege, hogy az összehegesztendő alkatrészek egyike nagy fordulatszámú forgó mozgást végez, miközben megfelelő nyomással a másik, rögzített (álló) alkatrészhez nyomják. A felületeken keletkező súrlódási hő hatására a felületek ömledék állapotba kerülnek. Ekkor a forgást megszüntetve, a hegesztett alkatrészeket állandó nyomás alatt tartva lehűtik. Elterjedten alkalmazzák körszimmetrikus fém alkatrészek összehegesztésére is.

- **VIBRÁCIÓS HEGESZTÉS:** a rotációs dörzshegesztéshez hasonló eljárás, ahol az alkatrészek egymáshoz szorítva, apró translációs elmozdulásokkal hő gerjesztenek. A rezgést elektromágnesek hozzák létre, egy rugókra felfüggesztett eszközön. A mozgást hirtelen leállítva a megolvadt felületek összehegednek. A módszer nem forgásszimmetrikus darabok hegesztésére jól alkalmazható, amennyiben az egyes alkatrészek néhány fokkal elfordíthatók egymáshoz képest. Az elfordítás helyett a súrlódást excentrikus mozgással, továbbá tengely vagy keresztirányú egyenes vonalú mozgással is létre lehet hozni.

- **ULTRAHANGHEGESZTÉS:** Ennél az eljárásnál a hegeszthetőség kritériuma a hegesztendő anyag mechanikai rezgéseket csillapító képessége: a csillapítás miatt a rezgési energia csökken, miközben az anyagban hő fejlődik. A hőre lágyuló polimerek mechanikai rezgéscsillapító képessége olyan nagy, hogy az összes polimer anyag hegeszthető ultrahanghegesztéssel (9. ábra).

Egy ultrahanghegesztő berendezés két részre osztható: a hegesztő asztalra (üllőre és befogószerkezetre) és a rezgéseket keltő és továbbító egységre (átalakító, erősítő, szonotróda). Az üllő feladata, hogy a hegesztendő anyagokat szilárdan rögzítse a hegesztési folyamat alatt.

Az ultrahang frekvenciatartományba eső rezgések a következő módon hozhatók létre: egy generátor a hálózati áramot nagyfrekvenciás váltakozó árammá transzformálja, amit a rezgés-átalakító (konverter) egy piezoelektromos kristály felhasználásával mechanikai rezgéssé alakít át úgy, hogy a kristály a váltakozó feszültség hatására periodikusan kitágul és összehúzódik. A keletkezett rezgések amplitúdója ekkor általában még túl kicsi a hegesztéshez, így egy további elem, az ún. booster, vagy erősítő beiktatására van szükség, ami geometriai kialakításának köszönhetően képes a rezgések amplitúdójának növelésére (eközben a rezgések frekvenciája nem változik meg). A szonotróda feladata, hogy a rezgéseket továbbítsa a hegesztendő munkadarab felületére, valamint geometriai kialakításából fakadóan szintén képes a rezgések amplitúdójának további növelésére is.



9. ábra Ultrahanghegesztés elvi ábrája műanyagoknál

2.3.2.3. Sugárzáson alapuló hegesztési eljárások

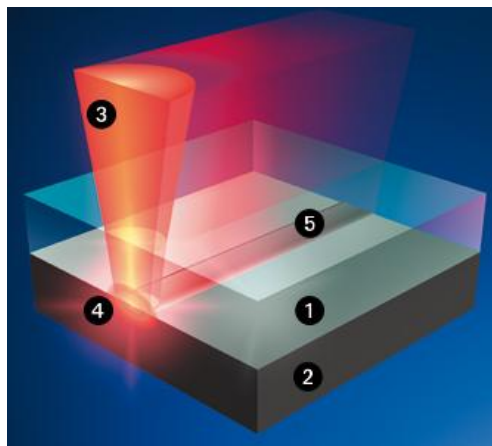
Sugárzáson alapuló hegesztésről van szó azokban az esetekben, amikor egy energiaforrásból kibocsátott sugárzás a hegesztendő testbe jutva ott bizonyos mértékben elnyelődik, az elnyelés helyének környezetében lévő anyagot felmelegíti, megömleszti. Ebbe a hegesztési csoportba tartoznak a lézersugaras, a nagyfrekvenciás és a mikrohullámú hegesztések is.

- **LÉZERSUGARAS HEGESZTÉS:** A fényforrások egy speciális típusa a lézer (**L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation = fénykibocsátás sugárzás indukált emissziójával). Megkülönböztetünk folyadék- (ún. festéklézer), szilárdtest- (pl.: Nd:YAG, diódalézer) és gázlézereket (pl.: CO₂ lézer). A lézerek által kibocsátott elektromágneses sugárzás **monokromatikus**, a sugárnyalábban belül a fotonok azonos hullámhosszú rezgőmozgást végeznek. A létrejött fényre jellemző továbbá a nagyfokú **koherencia**, azaz a lézersugár fotonjainak rezgésekepe szinkronizált, emiatt a sugárzás időben és térben rendezett. A lézernyaláb kicsi átmérőjű és nagyon kicsi széttartású, az egyes lézerfotonok gyakorlatilag párhuzamosan mozognak, emiatt a teljes lézersugár vonalszerűen terjed (a lézersugárzás **divergenciája kicsi**).

A lézersugár, mivel energiasűrűsége igen nagy, kiválóan alkalmas különböző anyagok megmunkálására. Az adott felületre jutó energia, valamint a lézersugárzás hullámhosszának megválasztásával meghatározhatjuk, hogy vágást, hegesztést, felületmódosítást (pl.: acél felületi edzése), vagy jelölést végzünk. Előnye a nagy pontosság és reprodukálhatóság, a nagyfokú

rugalmasság, valamint hogy érintésmentes és utólagos megmunkálást nem igényel. Hátránya hogy a hegesztett anyag nagy pontszerű hőterhelést kap, valamint hogy a berendezések igen drágák. Ma az iparban többnyire Nd:YAG, CO₂ és diódlézereket használnak, teljesítményük a felhasználástól függően igen széles tartományban mozoghat.

A lézersugaras hegesztés szabályozott hőbevitellel, kis deformációval és nagy hegesztési sebességgel történik. Lézerhegesztéskor a hőkeltés 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 alkatrész a lézersugárzás hullámhosszán áteresztő, az alsó nem, így a lézersugárzásban tárolt energia a két alkatrész érintkezési síkjában nyelődik el (10. ábra).



10. ábra A transzmissziós lézersugaras 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

4. A témához kapcsolódó fontosabb szavak angolul, németül

Magyar	Angol	Német
Kötéstechnológia	Joint technology	Verbindungstechnik
Bepattanó kötés	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., Pető 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=

