

Műanyagok hegesztése

A műanyagok hegesztésekor az összeillesztendő felületeket hő hatására meglágyulnak és a tömbanyagokra jellemző másodlagos kötések jönnek létre a darabok között. A polimer molekulák új struktúrákat alakítanak ki a varratnál, a tökéletesen hegesztett kötésnél nincs molekulaorientáció. Adalékanyagok használatakor átgondoltan kell megtervezni a hegesztést. Az alkatrész geometriája, a hőelvezetés és a szükséges szorítóerő fontos paraméterek a hegesztésnél. A műanyaghegesztés módja a használt berendezések típusától és az alapanyagtól is függ.

Tárgyszavak: műanyag-feldolgozás, hegesztés, közvetlen hevítéses eljárások, súrlódáson alapuló módszerek

A műanyagok hegesztésekor az összeillesztendő felületek hő hatására meglágyulnak és a tömbanyagokra jellemző másodlagos kötések jönnek létre az összeillesztett darabok között, a polimer molekulák új struktúrákat alakítanak ki a hegesztési varratnál. Nem szabad azonban elfelejteni, hogy két olyan felületet kell csatlakoztatni, melyek molekulaorientációja nagy. A nagy orientációs hajlam leküzdésére a lehető legnagyobb területet kell hőkezelné, és minél lassabban húl le a kötés, annál tovább tarthatók a molekulák olyan orientációban, amely jó kötési szilárdságot biztosít. Az optimális kötési szilárdság eléréséhez a varrattal párhuzamos molekulaorientációt és a lehető legkisebb maradék feszültséget kell elérni. A hegesztési varratoknál maradó feszültség a lehűtésekor a műanyag zsugorodása során jön létre. A hegesztési művelet sokszor kompromisszumok sorozatából áll, és időnként fontosabb a kis ciklusidő, mint az optimális kötési szilárdság elérése.

A töltőanyagok (például a talkum vagy más ásványi anyagok) használatakor a hegesztendő darab felülete általában töltőanyagban gazdag, ezért átgondoltan kell megtervezni a hegesztést. Az üveg- vagy szénszál erősítőanyagok párhuzamosan helyezkednek el az illesztési síkkal és nem keresztezik a kötési síkot, így nem erősítik a kötést. Ebben az esetben a hegesztési terület növelése lehet az egyetlen út a nagyobb kötési szilárdság eléréséhez. A töltőanyagok egyszerűen kiszorítják a hegeszthető polimert és a hegesztendő felületek gyakran feldúsulnak a töltőanyagra nézve.

A hegesztendő alkatrész geometriája is jelentős hatással van a hegesztés módjára, ugyanakkor nem várható el, hogy hegesztés az eredetnél jobb minőségű és konzisztensebb darabokat hozzon létre. Szintén kulcsfontosságú a kötésnél hőelvezetés és a szükséges szorítóerő alkalmazásának módja.

A műanyag hegesztés módja a használt berendezések, a kiegészítők típusától és az alapanyagtól függ. A műanyag hegesztési eljárásokat aszerint osztályozzák, hogy milyen módon közlik a hőt a felületek megolvasztására. A forrószerszámos – forró lapokat, a lézeres – koherens fényt, az infravörös – nem koherens fényt, az ultrahangos – kis területen fókuszált nagyfrekvenciás rezgést, a vibrációs és dörzshegesztés – felületi súrlódást használ. Az egyes eljárásokat kombinálni is lehet. A műanyaghegesztés számos területen alkalmazható, például a műanyag alkatrész költséges cseréje helyett gyakran lehet javítani hegesztéssel.

Forrógázos hegesztés

A direkt hevítéses eljárások közé tartozó forrógázos hegesztés során a forró levegősugár hatására a műanyag hegesztőpálca meglágyul és kitölti a darabok közötti rést, létrehozva a kötést. A nagyobb pontosság érdekében hőpisztoly irányítja a levegősugarat. A hegesztőpálcák általában ugyanabból az anyagból készülnek, mint az összehegesztendő darabok.

Extrúziós hegesztés

Az extrúziós vagy levegő nélküli hegesztő a hegesztőpálcát egy fűtőberendezéssel (kis extruder) melegíti fel, ezzel segít megakadályozni, hogy a pálcából felesleges anyag halmozódjon fel és a darabok megvetemedjenek. A levegő nélküli hegesztés különösen hasznos hőre keményedő műanyagoknál, mert ezek nem olvadnak meg a hő hatására.

Forrószerszamos (tükör) hegesztés

A forrószerszamos hegesztés szinte bármilyen méretű és geometriájú alkatrészt képes kezelni. Az összehegesztendő felületekre egy forró fémszerszámot szorítanak rá, megolvasztva azok felületét. A szerszám gyors eltávolítása után a megolvadt felületeket összeszorítják és a megdermedő anyag szilárd kötést alkot.

A folyamat egyszerű, stabil és általában könnyű hermetikus kötést elérni a legtöbb anyagnál. A hibák, problémák könnyen elháríthatók. Ez a legjobb eljárás a különböző ömledékhőmérsékletű és ömledékindexű (MFI) értékű anyagok hegesztésére. Nagy kenőképességű anyagokhoz, például a poli(tertafluor etilén) (PTFE), is jól használható. Több irányban is képes kezelni az illesztési görbületeket. Az egyik leghosszabb ciklusidővel rendelkezik a többi hegesztési eljárással összehasonlítva. A szűk olvadási tartományú anyagokat nehéz ezzel a módszerrel jól hegeszteni. A folyamat során mindig keletkezik sorja és elszenesedett anyag is kerülhet a kötésbe, ami hatással lehet a hegesztés minőségére.

A nagy hőállóságú, különösen a szemikristályos műanyagok jelentős kihívást jelentenek, mivel nem használhatók tapadásgátló bevonatok. Ezen túlmenően ezeknek az anyagoknak éles olvadási hőmérsékletük van, és a lehűtésekor keletkező héjréteg nehezen törhető fel az újra megszilárdult anyagokon. Ebben az esetben a vibrációs hegesztés a jó alternatíva.

A fűtőelemek és a hőelemek idővel elhasználódnak, az energiafogyasztás is magas. A fűtőelem kiegészése megnöveli a rendszer költségeit. Ha az egyik hőelem kiég, az extra terhelést jelent a többi fűtőelemre, ezért elengedhetetlen ezek cseréje. Az eljárás hőt termel és füstöt is okozhat, ezért tisztaterekben nem ajánlott a használata. Égett részecskék juthatnak a hegesztési varratokba és a műanyag is rátapadhat a szerszámlapokra.

A szerszám és beruházási költségek jellemzően magasabbak a kisgépes, de alacsonyabbak a nagygépes eljárásokhoz képest. Nincsenek fogyóeszközök, a rendszer működtetési költsége körülbelül feleakkora, mint a vibrációs hegesztőknél. Ez a módszer alkalmas puha vagy rugalmas anyagok, lágy elasztomerek megmunkálására is.

Hőszegecselés

A hőszegecselés könnyen automatizálható és viszonylag alacsonyak a szerszám és a beruházási költségek. A szegecselés egyszerre több síkban és több ponton is megtörténhet, a folyamat

alapvetően egyszerű, a jelentkező problémák viszonylag könnyen elháríthatók. Egyes szűk olvadási tartományú anyagokhoz azonban nem ajánlott ez az eljárás, ugyanis a hő hatására az anyagok könnyen megperzselődhetnek vagy nagyon folyóssá is válhatnak. A merevség hiánya, a nagy kristályossági fok és az erősített anyagok szintén kihívást jelenthetnek. A fűtőelemek és a hőelemek fogyóeszközök, cseréjük költséges lehet. Az ultrahangos hegesztéshez képest a valamivel hosszabb a ciklusideje.

Lézersugaras hegesztés

A lézeres hegesztés lézerefényt használ az anyagok megömlésztésére. Ebben az esetben az egyik anyagnak fényáteresztőnek, a lézer számára átlátszónak, míg a másiknak fényelnyelőnek kell lenni. A két anyagot nyomás alatt egyesítik, majd lézersugarat vezetnek át a fényáteresztő anyagon a fényelnyelő anyaghoz, ami elnyelve a lézersugár energiáját megömlik és stabil kötés jön létre. Egy másik módszernél energiaelnyelő színezékeket használnak. Ennél a technikánál a lézer a felső, nem adalékolt anyagon keresztül jut el az alsó, színezéket tartalmazó anyaghoz, amely elnyeli a lézerefényt és a lézereenergia hatására megömlik, létrehozva a kötést.

A lézeres hegesztés a lézerefény részleges áteresztése, visszaverődése, szórása és elnyelése elvén működik, az átlapolt részek határfelületén hozza létre a kötést, következésképpen a hegesztési zóna zárt. Esztétikus varratot eredményez, az összeillesztendő alkatrészek felülete nem szennyeződik. A műanyagok és a lézer optikai tulajdonságainak gondos megválasztásával eléendő hő keletkezik a megcélzott helyeken az anyag megolvadásához és összeillesztéséhez.

A lézeres hegesztés a legtöbb esetben sorjamentes, szinte hangtalan eljárás. Bizonyos összekötési megoldások és gépi koncepciók jelentős tervezési szabadságot biztosítanak. Nagy pontosságú eljárás, amellyel a rendkívül kicsi mérettől a nagyon nagy méretig hegeszthetők a műanyagok.

Az eljárás viszonylag kevésbé érzékeny a különböző típusú műanyagokra és adalékanyagokra, viszont utóbbiak jelentősen befolyásolják a lézerefény eljuttatásának módját a hegesztési zónába. Egyes pigmentek és töltőanyagok egyáltalán nem átlátszóak a lézerefény számára, illetve például a POM és a PTFE eltérően szórják a fényt. Mindezek befolyásolhatják a beruházási költségeket. A folyamatszabályozás nagyon kifinomult, szinte független a hegesztendő darab méretétől.

A lézeres hegesztés viszonylag magas beruházási költséggel jár. Az eljárás érzékeny az alkatrészek illesztésére, bizonyos alkalmazásokban pedig szükség van drága speciális színezékek, abszorberek vagy védőgáz használatára. A lézeres hegesztőket gyakran adott célra gyártják, így kevés szabványos modell kapható a kereskedelemben. Az optika és a lézer alkatrészek karbantartását szakemberekre kell bízni, valamint nagy a fogyóeszköz igénye.

A lézeres hegesztés tervezési szempontjai a következők:

1. Kompatibilisek-e a kiválasztott anyagok? A kompatibilitás mindkét hegesztendő műanyag darab olvadási hőmérsékletére, kémiai, mechanikai, geometriai és optikai tulajdonságaira vonatkozik.
2. Hatékonyan továbbítható-e a lézersugár a felső rétegen keresztül, hogy elérje az illesztési felületet, és az alsó réteg anyaga képes-e elnyelni a lézersugarat, hogy felmelegedjen?
3. Megfelelően összeszoríthatók-e az alkatrészek a hegesztési folyamat során, és szabályozható-e a kifejtett erő? Az alkatrészek geometriája hézagmentes illeszkedést eredményez-e?
4. A lézersugár hatékonyan elosztható és szabályozható-e?

Dörzshegesztés

A dörzshegesztés egy gyors és egyszerű eljárás, amellyel viszonylag könnyen készíthetők hermetikus kötések. A legjobb hegesztési technika kör alakú alkatrészekhez. A hegesztéshez szükséges hőt forgó mozgással állítja elő, miközben az álló darabhoz hozzászorítja a forgó darabot. Könnyen automatizálható és szabályozható, számos folyamatparaméter beállítása rugalmasan kezelhető. Viszonylag alacsony a szerszám és a beruházási költsége, jól reprodukálható eljárás. A művelet során kevés sorja keletkezik, amelynek mennyisége szabályozható. A folyamat elvét viszonylag könnyű megérteni, egyszerű a hibakeresés és nem tartalmaz fogyóeszközöket.

A dörzshegesztés legnagyobb korlátja, hogy a kötésnek kör geometriájúnak kell lenni. A kis alkatrészek nagy forgási sebességet igényelnek (több mint 10 000 fordulat/perc), ez egyensúly problémát jelenthet, ha a forgó alkatrész ferde. Érzékeny lehet a műanyagok különböző MFI értékére és ömledékhőmérsékletére. Az erősített anyagoknál, például a 25–30% üvegszálat tartalmazóknál előnyösebb lehet az ultrahangos vagy a vibrációs hegesztés. A nagy kenőképességű anyagok is problémát jelentenek, mivel a folyamat a nagy súrlódáson alapul.

A dörzshegesztés előnyei: Ismételhető és rendkívül gyors technológia (akár néhány tizedmásodperc). A berendezések megépítése nem jelent különösebb nehézséget, a folyamat általánosan érthető fizikai elveken alapul. Ha a szerszámokat és a hegesztési feltételeket megfelelően választották ki, akkor csak a sebességet kell optimalizálni. Nagyobb tervezési szabadság, nem kell aggódni a könnyen letörhető élek, csapok vagy bordák kialakítása miatt. Nagyon kényes részek hegeszthetők nagy pontosságú szögpozicionálással. Nagyon jó tömítettség érhető el, a hegesztett alkatrészek kiváló mechanikai és esztétikai tulajdonságokkal rendelkeznek. A hegesztett részek azonnal használhatók.

A dörzshegesztés hátrányai: Kizárólag kör alakú részek hegeszthetők. A nagyon vékony részek nehezen hegeszthetők.

Vibrációs hegesztés

A hegesztendő felületek összedörzsöléssel történő felmelegítését transzlációs mozgattal is elérhetjük. A felületeket összeszorítva, egymáson elmozdítva a fejlődő hő hatására a műanyag megolvad. A mozgást megállítva az ömledék összeheged.

A vibrációs hegesztést általában nagyméretű darabok összeillesztésére használják, de kisebb alkatrészekhez is alkalmas, különösen, ha ciklusonként egynél több készül. Viszonylag könnyű elérni a hermetikus kötést, még akkor is, ha az anyag szűk olvadási hőmérséklet tartományú. Nincsenek fogyóeszközök, az eljárás kiválóan alkalmas nagy hőállóságú és szemikristályos anyagokhoz, függetlenül az erősítőanyagoktól. Ciklusideje rövid, az eljárás nem érzékeny a műanyag kémiai változásaira. Tudja kezelni a görbületeket, nagy szorítóerőket használ, a művelet többnyire egyszerű és stabil.

A vibrációs hegesztéssel mindig keletkezik sorja és előfordulhat, hogy egyes szerelvények nem képesek ellenállni a vibrációnak. Nem használható nagy kenőképességű anyagok esetében. Az alkatrészeknek megfelelő merevségűnek kell lenni és nem ajánlott elasztomerekhez.

A legtöbb vibrációs hegesztő olyan hidraulikus egységgel felszerelt, amely miatt nem használható tisztatérben, bár a közepes és kisebb gépek pneumatikus emelőasztallal is gyárthatók. A beruházási és szerszám költségek magasak, a hegesztőgép zajszintje általában 80 dBA, ezért gondoskodni kell a zajvédelemről.

Ultrahangos hegesztés

Az ultrahangos hegesztés egy gyors és precíz módszer a hőre lágyuló műanyagok összeillesztésére. Fizikai értelemben egy 15 és 50 kHz közötti mechanikai rezgésről van szó, amely az anyagtól függően általában 20 és 100 mikron amplitúdójú. Ez a vibráció intenzív súrlódást hoz létre a molekulák között, amely helyi hőmérséklet emelkedéshez vezet. Ez egy jól körülhatárolt terület, ahol a hegesztendő felületek összeolvadnak és állandó erő hatására a két darab egyesül. Az ultrahangos hegesztés biztonságos és hosszantartó kötést nyújt.

Az ultrahangos eljárásnál fontos az anyagon keresztüli hangátvitel, és általában közel sík illesztésre van szükség ahhoz, hogy a hang a kötés minden pontjához azonos utat tegyen meg. A nagyon vékony részek kivételével az anyagnak viszonylag merevnek kell lennie. Ennek a módszernek az egyik komolyabb korlátja az alkatrészekre kifejtett vibráció. Egyes anyagok, például az erősítetlen szemikristályos anyagok tulajdonságait károsan befolyásolhatja az ultrahang.

Az ultrahangos hegesztés előnyei: Ismételhető és rendkívül gyors technológia (akár néhány tizedmásodperc). Nem okoz hőkárosodást az anyagban. A hegesztett részek kiváló mechanikai és esztétikai tulajdonságúak, a művelet után azonnal használhatók. Kiváló tömítettség érhető el. Számos alkalmazásban széleskörű a felhasználás. A gyártási folyamat automatizálható. Kiváló költség/felhasználás arány. Nagyon alacsony energiafogyasztás.

Az ultrahangos hegesztés hátrányai: Az anyagnak merevnek kell lennie ahhoz, hogy az ultrahang energiáját túlzott disszipáció nélkül továbbítsa. A bonyolult geometriájú és nagyméretű alkatrészek hegesztése nehézkes, csak speciális, költséges berendezéssel oldható meg. A vékony részek megsérülhetnek, eltörhetnek. A hegesztési kötés alaposabb vizsgálatot igényel.

Összeállította: Dr. Lehoczki László

Rosario, M.: What is plastic welding = 2022. július 7,
<https://www.aboutmechanics.com/what-is-plastic-welding.htm>

Kirkland, T.: Improving Plastic Welding: Learn to Think Like Molten Plastic = Plastics Decorating, 2020. július 5.,
<https://plasticsdecorating.com/articles/2020/improving-plastic-welding-learn-to-think-like-molten-plastic/>

Ultrasound or spin welding? That is the question, 2018. február 20.,
<https://www.plasticportal.eu/en/ultrasound-or-spin-welding-that-is-the-question/c/4860/>

Choosing the Right Welding Process, 2005. szeptember 1.,
<https://www.mddionline.com/news/choosing-right-welding-process>

Magee, J.: Plastics Locked Down and Laser Welded = Plastics Today, 2021. április 23.,
<https://www.plasticstoday.com/medical/plastics-locked-down-and-laser-welded>