

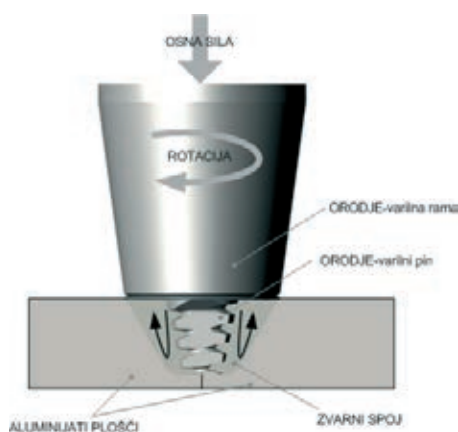
» Postopek večdimenzionalnega spajanja ulitkov brez taljenja

Tadej Muhič Varjenje z gnetenjem (angl.: FSW – Friction stir welding) je inovativna tehnologija, ki jo je razvil in patentiral leta 1991 angleški varilni inštitut (TWI). Varjenje z gnetenjem je posebna tehnika spajanja, ki s pomočjo trenja in mehanske deformacije tvori zvarni spoj. Rotacija varilnega orodja segreva material in ga posledično plastificira. Ob sočasnem apliciranju osne sile se plastificiran material meša ter tako tvori trajno dinamični zvarni spoj. Varjenje z gnetenjem velja za hladni postopek, saj se v področju spoja varjenec ogreje le do pribl. 400 °C, medtem ko se celoten zvarjenec ogreje le do 100 °C.

Predstavitev postopka

Varilno orodje

Varilno orodje je sestavljeno iz varilne rame in varilnega čepa. Varilna rama generira večji del toplotne energije ter preprečuje plastificiranemu materialu uhajanje iz področja zvarnega spoja. Oblika varilnega čepa s svojo značilno vijačnico omogoča medsebojno mešanje materiala v zvarnem spoju.



» Slika 1: Prikaz varilnega orodja v spoju (Avtor: Dino Grbič)

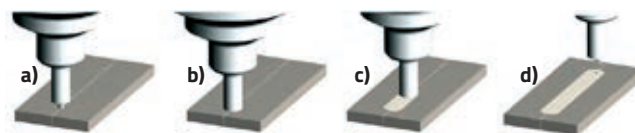
Tvorba zvarnega spoja

Postopek varjenja z gnetenjem sestavljajo iz naslednji koraki:

- varilno orodje se postavi na pred-programirano začetno pozicijo, (a)
- vrteče se varilno orodje se nato potisne v dve plošči, ki jih je treba spojiti, (b)

- ko je dosežena pred-programirana sila v osi, se varilno orodje začne premikati vzdolž linije zvarnega spoja in (c)
- na koncu zvarnega spoja se varilno orodje dvigne iz zvarnega spoja. (d)

Prednosti varjenja z gnetenjem v primerjavi z drugimi postopki spajanja



» Slika 2: Tvorba zvarnega spoja (Avtor: Dino Grbič)

Proces varjenja z gnetenjem velja za edino tehnologijo spajanja, ki omogoča trajno dinamičen in popolnoma tesen spoj dveh produktov izdelanih s postopkom tlačnega litja. Kot je splošno znano, s postopkom tlačnega litja dobimo izdelek, ki je po svoji sestavi mešanica aluminija in v aluminij ujetega zraka. Če s klasičnim postopkom talilnega spajanja spajamo takšne izdelke, prihaja do segrevanja v poroznosti ujetega zraka. Z višanjem temperature nadtlak v poroznosti narašča, mehanske lastnosti materiala v bližini poroznosti padajo, kar povzroči porušitev stene poroznosti. To rezultira z lokalno eksplozijo oz. brizganje materiala ter nastanek dodatne poroznosti.

Prednosti varjenja z gnetenjem v primerjavi z drugimi talilnimi postopki spajanja so:

- mehanske lastnosti spoja so za vsaj 20 % boljše v primerjavi z osnovnim materialom,
- nastane fino-zrnata struktura zvarnega spoja,
- brez izgub legirnih elementov,
- korozijska obstojnost spoja je enaka osnovnemu materialu,
- odlična dimenzijska stabilnost varjenca,
- brez potrebe po dodatnem materialu in



- popolnoma avtomatiziran od operaterja neodvisen proces. Poleg tehnoloških prednosti velja postopek varjenja z gnetenjem za zeleno tehnologijo, ker:
 - ni potrebe po dovajanju zaščitnega plina,
 - pri postopku spajanja se ne sproščajo UV-svetloba ali dimni plini,
 - med postopkom spajanja ne prihaja do nastanka obrizgov,
 - priprava zvarnega spoja ne zahteva predhodnega odstranjevanja oksidov s površine varjencev.

Razvoj tehnologije izdelave kompaktnih hladilnih elementov v ljubljanskem obratu LTH Castings

Začetek razvoja postopka izdelave kompaktnih hladilnih elementov v našem podjetju je bil spodbujen s strani predstavnikov podjetja BOSCH. V začetku leta 2010 smo bili prepoznani kot eno izmed podjetij, ki je s svojim znanjem in razvojnim potencialom zmoglo aktivno podpreti ideje o izdelavi enotnega nosilnega hladilnega elementa za močnostno elektroniko. Vstop hibridnega pogona na avtomobilski trg je pomenil, da je treba izdelati aktivni hladilni element, ki mora biti popolnoma tesen, saj je okrog hladilnega elementa nameščena kompaktna elektronika, ki je občutljiva na najmanjšo prisotnost vlage. Poleg tega je elektronika občutljiva tudi na prisotnost najmanjših prostih delcev aluminija, saj lahko le-ti povzročijo kratek stik in odpoved elektronike oz. v najslabšem primeru požar. Pri tovrstnih izdelkih je izjemno pomembna tudi tehnična čistost površine, saj se v stik med elektroniko in hladilni element nanašajo posebni kontaktni nanosi, ki povečujejo prenos toplote v stiku med hladilno površino in elektroniko.

Zakaj odločitev za uvedbo varjenja z gnetenjem?

Klasična izdelava spoja dveh ulitkov s pomočjo tesnilke in vijaka spoja je bila pri razvoju hladilnikov elektronike za hibridni pogon nadomeščena z varjenjem z gnetenjem zaradi naslednjih prednosti:

- zmanjšanje števila sestavnih delov,
- zmanjšanja teže proizvoda,
- povečanje toplotnih obremenitev izdelka (brez toplotno občutljive tesnilke),
- možnost spajanja raznorodnih materialov, ki imajo različne prevodne lastnosti (ekstrudiran aluminij ima v primerjavi s tlačno ulitim aluminijem pribl. 30 % višjo toplotno prevodnost),
- zmanjšanje proizvodnega časa.



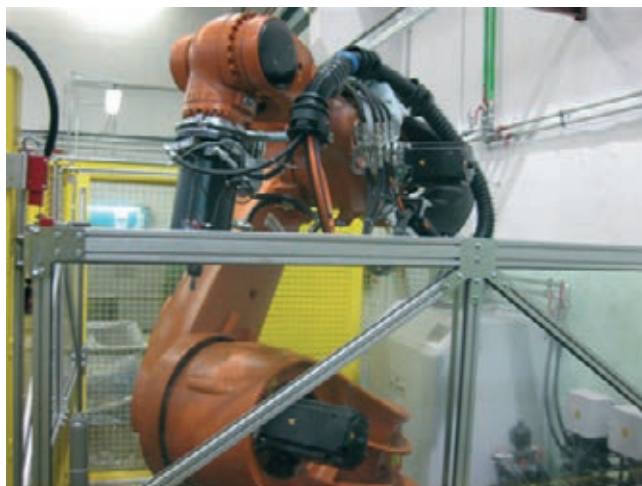
» Slika 3: Prikaz vijачnega spoja s tesnilko in izvedbe spoja z varjenjem z gnetenjem (Avtor: Dino Grbič)

Investicija v varilno opremo ter razvoj procesa

Začetek razvojne dejavnosti varjenja z gnetenjem v LTH Castings

Konec leta 2010 je bila izvedena prva investicija v modificiranega industrijskega robota KUKA. Prvi koraki niso bili enostavni, saj je bilo z dobaviteljem opreme dogovorjeno, da bo poleg dobave opreme izvedel tudi razvoj varilnih orodij ter procesa. Vendar se zaradi zahtevnosti proces ni razvijal tako. Prisiljeni smo bili prevzeti razvojno pobudo, saj so bili roki za vzpostavitev serijske proizvo-

dnje kratki. Poleg tega so nastale težave z nemškim podizvajalcem odgovornim za varjenje z gnetenjem.



» Slika 4: Šestosna robotska naprava za varjenje z gnetenjem (Avtor: Tadej Muhič)

Postopek razvoja je potekal po naslednjih korakih:

Zasnova in konstrukcija varilnih orodij

Zasnova varilnih orodij je v prvi meri odvisna od tipa zvarnega spoja (prekrivni; sočelni zvarni spoj s podložko) in s tem povezanih morebitnih nepravilnosti v spoju. Optimalna zasnova varilnega orodja mora biti takšna, da med obratovanjem ne prihaja do obrabe varilnega orodja, temveč do predhodne porušitve. Tako je treba iskati optimalno razmerje med površino varilnega čepa in njegovega volumna.



» Slika 5: Razvoj in izdelava različnih tipov varilnih čepov (Avtor: Tadej Muhič)

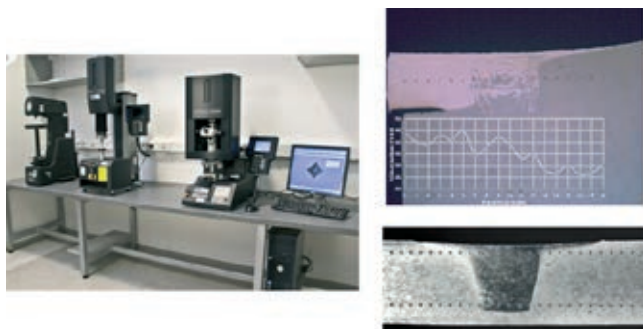
Določitev in optimizacija procesnih parametrov

Pri iskanju optimalnih parametrov spajanja se v prvem koraku najprej izvedejo preizkusi na 2D-ulitih ravnih ploščicah iz različ-



» Slika 6: Prikaz preizkušanja z natezno trgalno napravo za preverbo trdnosti spoja pri izbrani matriki parametrov (Avtor: Tadej Muhič)

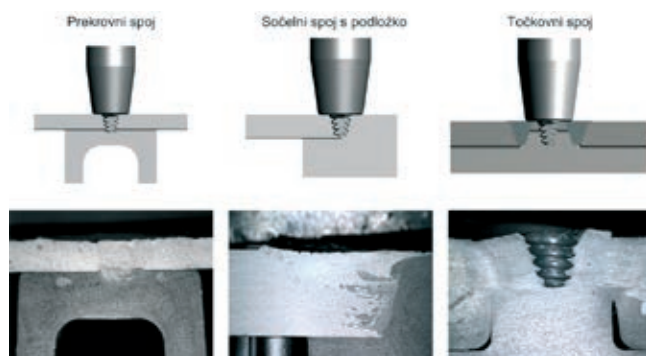
nih materialov pri izbrani obliki varilnega orodja. Izdela se matrika vplivnih parametrov, ki jih variramo. Nato sledi razrez preizkušancev v obliki standardne natezne epruvete. Na podlagi rezultatov se določi najoptimalnejša kombinacija parametrov, ki zagotavlja stabilnost procesa v serijski proizvodnji.



» Slika 7: Makroskopska analiza in meritve trdote spoja ter njegove okolice

Razvoj različnih zvarnih spojev

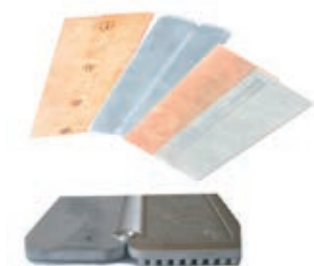
Za zagotovitev tesnosti hladilne komponente, preprečevanje prelivov hladilne tekočine med dovodnim in odvodnim kanalom ter zadostne togosti sklopa so bili razviti naslednji tipi zvarnih spojev:



» Slika 8: Prikaz različnih spojev, ki se uporabljajo za spajanje različnih hladilnih komponent (Avtorja: Tadej Muhič, Dino Grbič)

Kombinacije različnih vrst materialov

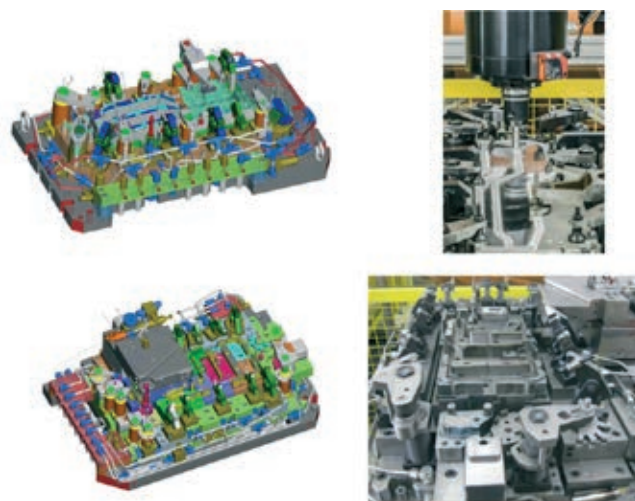
Na podlagi razvoja in pridobljenih izkušenj s spajanjem ulitkov smo do današnjega dne uspešno medsebojno spajali raznorodne materiale, kot so aluminij, magnezij, baker ter jeklo. Kombinacije teh materialov lahko spajamo skoraj neodvisno od njihovega stanja izdelave. Tako lahko spajamo tlačne ulitke, ekstrudirane izdelke in valjane pločevine.



» Slika 9: Kombinacije različnih uspešno spojenih materialov (Avtor: Sebastjan Vodusek)

Vpenjalne priprave za varjenje z gnetenjem

Če ima proces varjenja z gnetenjem kakšno slabost, je to vsekakor potreba po togem podprtju in vpenjanju ulitkov med procesom spajanja. Tako je potrebna zasnova ter izdelava kompleksnih vpenjalnih naprav, ki omogočajo dinamično izpenjanje in vpenjanje varjencev, predvsem pa morajo biti podporni elementi izdelani na način, ki omogoča višinsko prilaganje podpor.



» Slika 10: Vpenjalna priprava za varjenja z gnetenjem (Avtor: Dino Grbič)

Investicija v najnovejšo varilno napravo

Povečanje naročil pri štirih serijskih proizvodih konec leta 2012 ter zaradi pritiska naročnika na zmanjšanje proizvodnih stroškov je vodilo v potrebo po novi investiciji v varilno napravo. Na podlagi izkušenj in zbranih informacij ponudnikov varilnih strojev je sledila odločitev za nakup petosne CNC-varilne naprave, ki nam je omogočila dvig produktivnosti varjenja za 50 % v primerjavi z robotskim varilnim sistemom. Poleg dviga produktivnosti nam nova naprava zaradi svoje togosti omogoča dvig zanesljivosti proizvodnje, ki je ključna pri produktih za avtomobilsko industrijo.



» Slika 11: Peto-sna CNC-varilna naprava (Avtor: Tadej Muhič)

Z novim varilnim strojem se je razširila naša ponudba izdelkov, saj lahko sedaj varimo v treh različnih pozicijah.



» Slika 12: Prikaz procesa varjenja v različnih pozicijah (Avtor: Tadej Muhič)