



ICES
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA

Diplomsko delo višješolskega strokovnega študija

Program: Strojništvo

Modul: Proizvodnja

OPTIMIZACIJA PROCESA VARJENJA STATORSKEGA PAKETA

Mentorica: dr. Lidija Rihar

Kandidat: Robert Grgič

Lektorica: dr. Aleksandra Gačič Belej, univ. dipl. prof. zgo. in slov.

Škofja Loka, september 2023

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorici dr. Lidiji Rihar za pomoč pri vodenju in pisanju diplomskega dela.

Zahvaljujem se podjetju Domel d. o. o., ki mi je omogočilo izdelavo diplomskega dela. Osebno se zahvaljujem vsem zaposlenim v proizvodnji, ki so na kakršen koli način pripomogli k izdelavi diplomskega dela.

Zahvaljujem se tudi lektorici dr. Aleksandri Gačič Belej, ki je moje diplomsko delo pregledala jezikovno in slovnično.

Posebej se zahvaljujem tudi svojim staršema, ki sta me podpirala med študijem.

IZJAVA

Študent Robert Grgić izjavljam, da sem avtor tega diplomskega dela, ki sem ga napisal pod mentorstvom dr. Lidije Rihar.

Skladno s 1. odstavkom 21. člena Zakona o avtorski in sorodnih pravicah dovoljujem objavo tega diplomskega dela na spletni strani šole.

Dne: _____

Podpis: _____

POVZETEK

Podjetje Domel d. o. o. je svetovni razvojni dobavitelj elektromotorjev, sesalnih enot, puhal in ostalih komponent. Temelj našega uspeha sta dolgoletna tradicija in pripadnost nas vseh zaposlenih. Visokotehnološka opremljenost, avtomatizacija in robotizacija se kažejo v poslovnih procesih ter so osnova za gradnjo konkurenčnosti. Sestavni deli so ob podpori lastne orodjarne izdelani iz laminatov, aluminija, termoplastike in duroplastov. Podjetje je bilo ustanovljeno leta 1946 in do danes smo ustanovili štiri proizvodne lokacije v Sloveniji, eno na Kitajskem in en obrat v Srbiji. Zadnje čase se pogosto srečujemo s povečanimi naročili kupcev in z velikimi količinami izmeta. Ker je danes konkurenca na trgu zelo močna, smo bili primorani v tem primeru proces varjenja statorskih paketov optimizirati. Glavni cilj našega diplomskega dela je bil skrajšati cikel varjenja in izboljšati kakovost varjenja. S to rešitvijo bi obdržali kupce in podjetju ustvarili prihranke ter povečali dobiček.

KLJUČNE BESEDE

- statorski paket
- stroj za varjenje
- lamela oz. statorski list
- plin argon
- paketirna priprava

ABSTRACT

The Domel company is a worldwide development supplier of electromotors, suction units, blowers and other components. Our success is based on deep-rooted tradition and a sense of belonging shared by all employees. High-technology equipment, automation and robotization are reflected in business processes and act as basis for strengthening competitiveness. Supported by its own tool shop, the company produces components from laminates, aluminium, thermoplastics and duroplastics. It was established in 1946, with four production facilities built in Slovenia, one in China and one in Serbia ever since. The number of customer orders has recently increased, while the amount of factory rejects is significant as well. With the intense competition in the market, we were forced to optimise the process of welding starter packets in this case. The main goal of this paper was to shorten the welding cycle and improve the welding quality. Based on this solution, we would be able to keep the customer, generate revenue for the company and increase its profits.

KEYWORDS

- stator packet
- welding machine
- stator sheet
- argon gas
- packaging device

KAZALO

1	UVOD.....	1
1.1	Predstavitev problema.....	1
1.2	Cilji diplomskega dela.....	1
1.3	Predstavitev okolja.....	1
1.4	Predpostavke in omejitve.....	1
1.5	Metode dela.....	2
2	PREDSTAVITEV PODJETJA DOMEL.....	2
3	LASERSKO VARJENJE.....	3
3.1	Tehnike laserskega varjenja.....	4
3.2	Lasersko spajanje.....	4
3.3	Lasersko navarjanje.....	4
4	ELEKTRO PLOČEVINA IN NJENE OBDELOVALNE LASTNOSTI.....	4
4.1	Izdelava in optimizacija programa varjenja za statorski paket.....	7
4.2	Potek dela oz. proces varjenja.....	9
4.3	Spajanje statorskih lamel.....	11
5	NASTAVITVE VARJENJA STATORSKIH PAKETOV.....	12
5.1	Pakiranje statorskih paketov.....	17
5.2	Evidenčni list.....	19
6	LASERSKI VARILNIK ALPHALASER ALFLAK 200S.....	20
6.1	Sestavni deli laserskega varilnika ALFlak 200S.....	22
7	RAZLOGI ZA OPTIMIZACIJO PROGRAMA ZA LASERSKO VARJENJE.....	23
7.1	Deformacije varjencev.....	23
7.2	Napake na zvarih statorskega paketa.....	24
7.3	Skrajšanje cikla varjenja.....	24
8	NASTAVITEV LEČE ZA VARJENJE.....	25
9	OSNOVNA NAČELA LASERSKEGA VARJENJA.....	26
9.1	Obračanje oz. nagibanje leče.....	28
9.2	Obračanje in nagibanje objektiva.....	28
9.2.1	1. nagibanje.....	28
9.2.2	Obračanje.....	28
9.2.3	Nadzorna plošča/monitor.....	29
9.3	Stroški laserskega varjenja temprane litine.....	30
9.3.1	Vloga varilne moči impulzov pri laserskem varjenju.....	30
10	ZAKLJUČKI.....	31
11	LITERATURA IN VIRI.....	34

KAZALO SLIK

Slika 1:	Statorski list.....	6
Slika 2:	Stroj za izsekovanje (štancanje pločevine)	7
Slika 3:	Laserski varilnik ALFlak 200S.....	9
Slika 4:	Paketirna priprava	10
Slika 5:	Faze dela	10
Slika 6:	Zvit statorski list oz. lamela.....	11
Slika 7:	Leča za varjenje	13
Slika 8:	Parametri stroja	14
Slika 9:	Mapa, kjer je datoteka do programa	14
Slika 10:	Datoteke programa.....	15
Slika 11:	Prva stran programa.....	15
Slika 12:	Nastavitve programa	16
Slika 13:	Koordinate varjenja.....	16
Slika 14:	Zagon programa.....	17
Slika 15:	Zaboj s statorskimi paketi	17
Slika 16:	Povarjeni statorski paket	18
Slika 17:	Evidenčni list	19
Slika 18:	Stroj ALFlak 200S	21
Slika 19:	Stroj za varjenje.....	22
Slika 20:	Novi parametri stroja	25
Slika 21:	Leča za varjenje	26
Slika 22:	Shematski opis poti laserskega žarka.....	27
Slika 23:	Cilj obračanja naklanjanja.....	28
Slika 24:	Delovni čas.....	29

KAZALO TABEL

Tabela 1:	Težave pred in izboljšave po optimizaciji	30
-----------	---	----

POJMOVNIK

Laserski varilnik:	je stroj, ki je praviloma v proizvodnem procesu računalniško voden. Pri tem je glavna funkcija laserski žarek, ki se usmeri na stik med dvema deloma (varjencema). Varjenci so običajno iz kovinskih materialov, lahko so tudi iz drugih materialov. Prednost uporabe je brezstičen dovod energije.
Paketirna priprava:	To je priprava, v kateri se sestavi statorski paket, preden gre v proces varjenja. Sestavljena je iz levega in desnega dela, pri čemer nam omogoča lažjo pritrditev oziroma poravnavo statorskih listov, iz katerega je narejen statorski paket.
Statorski list:	je del pločevine, ki tvori statorski paket. Izdeluje se z izsekavanjem oziroma s štancanjem. V večini primerov je statorski paket sestavljen iz ene same vrste lamel, vendar se lahko paketi sestavljajo tudi iz dveh do treh različnih vrst lamel.
Statorski paket:	je fiksni oziroma mirujoči del v (električnem) motorju, npr. turbine, sesalnika, generatorja ... Stator dobavlja energijo (elektriko, paro, plin, vodo) rotorju, v katerem se pretvori v kinetično energijo vrtenja in nadalje v uporabno delo (pogonski stroj), ali stator vzame energijo iz rotorja in jo pretvori v neko drugo obliko (električni generator, turbopolnilnik, centrifugalna črpalka).
Štancanje oziroma izsekovanje:	je postopek preoblikovanja pločevine med pestičem in matrico, pri čemer se debelina bistveno ne spreminja. Poznamo upogibno, ovijalno, oblikovalno štancanje, izvlečenje ter zoževanje in načrtovanje. Orodja za štancanje imenujemo štanice in se uporabljajo predvsem za množinsko proizvodnjo. Štancanje se izvaja predvsem na mehanskih in hidravličnih stiskalnicah.

1 UVOD

1.1 PREDSTAVITEV PROBLEMA

Zaradi vse večjih količin in različnih vrst izdelkov na trgu so se začele pojavljati težave tudi v našem podjetju. Porajati se je začelo vprašanje, kako zadovoljiti kupca s številom poslanih izdelkov. Do težave je prišlo pri nizkih normativih, posledično se je pojavila tudi težava zaradi majhnega števila izdelanih kosov. V tem diplomskem delu bomo predstavili težavo, ki smo jo rešili tako, da smo optimizirali program laserskega varjenja statorskih paketov. Opisali bomo tudi težave, pri katerih smo bili omejeni, da smo prišli do optimizacije programa.

1.2 CILJI DIPLOMSKEGA DELA

Cilj diplomskega dela je predstaviti način, kako povečati normativ izdelave oziroma v tem primeru varjenja statorskega paketa ter preprečiti njegovo razpadanje zaradi nekakovostnega zvara in posodobitev oziroma optimizacijo programa za lasersko varjenje. Na kratko bomo predstavili tudi stroj, ki ga uporabljamo za proces varjenja statorskih paketov. V tem diplomskem delu bomo opisali tudi postopek sestavljanja statorskega paketa in postopek laserskega varjenja.

Glavna naloga je predstaviti, kako smo popravili oziroma optimizirali program laserskega varjenja oziroma kako smo skrajšali pot procesa varjenja statorskega paketa in povečali storilnost stroja.

Predstaviti želimo praktično izvedbo oziroma obnovo ali posodobitev programa, po katerem varimo statorske pakete. Po posodobitvi programa želimo ugotoviti, ali je mogoče narediti večje število kosov kot pred tem na tem varilnem stroju, in če bodo statorski paketi kakovostni, da ne pride do njihovega razpadanja.

1.3 PREDSTAVITEV OKOLJA

To diplomsko delo se nanaša na optimizacijo programa za lasersko varjenje statorskih paketov. Uporaba teh statorskih paketov je namenjena prezračevanju in klimatizaciji večjih stavb, kot so npr. poslovne stavbe, bolnišnice, predori, kmetijske hale ipd.

1.4 PREDPOSTAVKE IN OMEJITVE

Omejeni smo predvsem na svoje znanje in izkušnje. Pri tem moramo paziti, da ko optimiramo program, da ne pride do razpadanja statorskega paketa. Pri izvedbi dela optimizacije programa predvidevamo, da je program, ki smo ga posodobili, hitrejši

od prejšnjega, kar posledično privede do povečanja števila kosov v proizvodnem procesu in do boljše kakovosti zvarov na paketu oziroma tako preprečimo njihovo razpadanje.

1.5 METODE DELA

V teoretičnem delu diplomskega dela bomo opisali nekaj tehnik oziroma tehnologij spajanja, katere vrste pločevino uporabljamo (njene obdelovalne lastnosti), nastavitve programa za varjenje statorskih paketov, omejitve uporabe stroja (laserskega varilnika), opis varilnika in ali bo kakovost izdelkov oziroma statorskih paketov izpolnjena.

V praktičnem oziroma predvsem v raziskovalnem delu bomo poskusili dokazati, da smo vse te združene tehnologije, ki smo jih obravnavali oziroma analizirali v teoretičnem delu, lahko izvedli oziroma uporabili v praktičnem primeru.

V zaključku bomo podali glavne ugotovitve svojega raziskovalnega dela, in sicer na osnovi optimizacije programa za lasersko varjenje. Dobili bomo rezultat, ali je naša optimizacija programa uspela povečati normativ kosov in kakovost zvarov na statorskem paketu, da bi preprečila razpadanje teh.

2 PREDSTAVITEV PODJETJA DOMEL

Podjetje Domel je slovensko podjetje, ki se ukvarja s proizvodnjo elektromotorjev, industrijskih sesalnikov in drugih naprav za gospodinske in industrijske naprave, kot so stroji za čiščenje tal, vrtnarska oprema in električna orodja, a tudi za področja ogrevanja, prezračevanja in klimatizacije, zdravstva in medicine ter alternativne energije in za avtomobilsko industrijo. Ustanovljeno je bilo leta 1951 in danes zaposluje več kot 1.000 ljudi. Podjetje ima sedež na Gorenjskem (Domel, 2023).

Domel se ponaša s številnimi certifikati, med katerimi so ISO 9001, ISO 14001, OHAS 18001 in IATF 16949. To dokazuje, da je podjetje zavezano kakovosti, varovanju okolja in varnosti pri delu ter da izpolnjuje stroge standarde v avtomobilski industriji.

Domel je eno od vodilnih podjetij na področju proizvodnje elektromotorjev in industrijskih sesalnikov, ki se uspešno prodajajo po vsem svetu. Podjetje ima bogato tradicijo in izkušnje, ki jih je pridobilo v več kot 70 letih obstoja, ter se še naprej razvija in raste v smeri inovativnih in visokokakovostnih rešitev za svoje stranke.

Kakovost naših končnih izdelkov se odraža v izjemno dolgi življenjski dobi, zelo nizki stopnji hrupa in dokazanem ultra izkoristku, ki zmanjšuje porabo električne energije za končnega uporabnika. S tem prispevamo k trajnostni poslovni rasti in zeleni prihodnosti.

Naši motorji poganjajo več kot 300 milijonov naprav najvišjega razreda in naprav za široko potrošnjo po vsem svetu. S kupci gradimo dolgoročna partnerstva.

3 LASERSKO VARJENJE

Lasersko varjenje je vrsta tehnologije varjenja z laserskim žarkom, ki je vodena s pomočjo računalniškega programa. Laserski žarek ustvari tako močno temperaturo, med varjencema (materialoma), ki ju varimo, da se začneta taliti. Materiali, ki ji varimo so običajno kovinski, lahko pa so tudi iz drugih materialov. Lasersko varjenje se deli na dve vrsti. Prevodno in globoko lasersko varjenje. Prednosti laserske tehnologije je ta, da ustvari brezstičen dovod energije.

Lasersko varjenje se uporablja predvsem v industriji, kjer se zahtevajo visoka natančnost, hitrost, čistost in natančna kakovost procesa varjenja. Ta tehnologija omogoča zelo natančen nadzor temperature in globine taljenja materiala, kar zagotavlja, kot smo že omenili, natančne in kakovostne varilne spoje. S tehniko laserskega varjenja lahko varimo različne materiale, kot so kovine, plastični materiali, keramika, steklo, kar omogoča varjenje različnih materialov.

Lasersko varjenje ima številne prednosti v primerjavi z drugimi vrstami varjenja. Med njimi so:

- visoka natančnost in kakovost varjenja,
- hitrost procesa varjenja,
- minimalne možnosti deformacije materialov,
- možnost varjenja različnih materialov,
- manjša poraba materiala in energije,
- boljši nadzor nad procesom varjenja.

Lasersko varjenje se uporablja v različnih industrijskih panogah, kot so npr.: avtomobilska industrija, letalska, medicinska, elektronska in strojna ter pri proizvodnji različnih orodij in naprav (Wikipedija, 2023).

3.1 TEHNIKE LASERSKEGA VARJENJA

Lasersko varjenje lahko opredelimo na dve vrsti oz. tehniki varjenja. Glede na lastnosti izdelka se lahko varilec odloči za lasersko varjenje ali lasersko navarjanje.

3.2 LASERSKO SPAJANJE

Lasersko spajanje v primerjavi s klasičnimi načini varjenja kot so (TIG, MIG) ima številne prednosti. Ena izmed glavnih prednosti je zagotovo varjenje zelo tankega materiala, varjenje brez dotika, možna avtomatizacija procesa, itd. Lasersko lahko spajamo zelo tanke materiale do kar 0,05 mm. Po postopku laserskega varjenja ni potrebna naknadna obdelava oziroma je ta minimalna. Proces laserskega spajanja lahko avtomatiziramo, pri tem pa prihranimo denar oz. zmanjšamo stroške varjenja. Z laserskim spajanjem lahko varimo tudi na težje dostopnih mestih.

3.3 LASERSKO NAVARJANJE

Lasersko navarjanje postaja vedno bolj razširjen proces v različnih industrijah. Z navarjanjem lahko varjencu dodajamo različne materiale. Dodajanje materiala uporabljamo predvsem takrat, kadar želimo spreminjati obliko ali izboljšati mehanske lastnosti varjenca. Pri tem postopku obstaja manjša možnost nevarnosti deformacij, razpok in zajed na izdelku. Lasersko navarjanje se uporablja predvsem na težje dostopnih mestih, saj je žarišče laserskega žarka lahko bolj ali manj oddaljeno od glave laserja. Ta tehnika laserskega varjenja je primerna za varjenje nerjavnega jekla, aluminija, titana ...

4 ELEKTRO PLOČEVINA IN NJENE OBDELOVALNE LASTNOSTI

Elektro pločevina je kovinska pločevina, ki se uporablja v elektrotehniki in pri izdelavi elektromotorjev. Običajno je izdelana iz jeklene zlitine, ki ima visoko magnetno permeabilnost in nizko izgubo energije, kar je ključno za učinkovito delovanje elektromotorjev in transformatorjev.

Obdelovalne lastnosti elektro pločevine so pomembne pri proizvodnji elektromotorjev in drugih elektrotehničnih izdelkov. Jedra malih elektromotorjev so sestavljena, kot smo že omenili, iz elektro pločevine, pri čemer je največkrat uporabljena hladno valjana neorientirana pločevina z različnimi tipi izolacijskih slojev. Glavne obdelovalne lastnosti elektro pločevine vključujejo:

- Odpornost proti obrabi: Elektro pločevina je običajno izpostavljena trenju in obrabi, zato mora biti dovolj trdna in odporna proti obrabi.

- Dobro obdelovalnost: Elektro pločevina mora biti preprosta za obdelavo, kot so rezanje, upogibanje, vrtanje, žaganje in varjenje.
- Nizko hrapavost: Da bi zmanjšali izgubo energije, zaradi magnetnega trenja, mora imeti elektro pločevina nizko hrapavost na površini.
- Dobro magnetno permeabilnost: Elektro pločevina mora imeti visoko magnetno permeabilnost, da lahko učinkovito prenaša magnetno energijo.
- Nizko izgubo energije: Elektro pločevina mora imeti nizko izgubo energije, zaradi magnetnega trenja, da se zmanjša izguba energije in poveča učinkovitost elektro motorja ali transformatorja.

Uporaba elektro pločevine ima velik vpliv na delovanje elektro motorjev in transformatorjev, zato je pomembno izbrati pravo kakovost elektro pločevine glede na uporabo.

Elektro pločevina je kovinska pločevina, ki se uporablja v elektrotehniki za izdelavo transformatorjev, motorjev in drugih elektromagnetnih naprav. Najpogosteje se uporablja jeklena pločevina z nizko vsebnostjo ogljika, ki se premaže z izolacijskim lakom. Obdelovalne lastnosti elektro pločevine so odvisne od sestave materiala, debeline in kakovosti površine. Elektro pločevina ima po navadi dobre lastnosti obdelovanja, kot so nizka trdota, dobra obdelovalnost, visoka odpornost proti koroziji in dobre magnetne lastnosti. Pri obdelavi pločevine je treba biti pozoren na naslednje dejavnike:

- Debelino: Elektro pločevina je na voljo v različnih debelinah, odvisno od namena uporabe. Debelina materiala vpliva na hitrost obdelave in izgubo toplote med obdelavo.
- Trdoto: Trdota elektro pločevine vpliva na izbiro orodij, ki se uporabljajo pri obdelavi. Mehkejši materiali zahtevajo manj ostro orodje, medtem ko trši materiali zahtevajo ostrejše orodje.
- Kakovost površine: Elektro pločevina mora imeti gladko površino, brez prask in drugih poškodb. To je še posebej pomembno pri izdelavi elektromagnetnih naprav, saj lahko nepravilnosti na površini povzročijo motnje v magnetnem polju.
- Magnetne lastnosti: Elektro pločevina mora imeti dobre magnetne lastnosti, kar je odvisno od sestave materiala in postopka izdelave. Magnetne lastnosti so pomembne pri izdelavi elektromagnetnih naprav, saj vplivajo na učinkovitost naprave.

Vse te lastnosti je treba upoštevati pri izbiri in obdelavi elektro pločevine, da se dosežejo optimalni rezultati.



Slika 1: Statorski list
(Lastni vir)

Pri izdelavi elektromagnetnih jeder se uporabljajo pločevine debeline med 0,2 in 0,5 mm (Mrljak, 2015).

Debelina pločevine se s širino traku spreminja z neko toleranco, kar je treba upoštevati pri izsekavanju in paketiranju lamel. Prav tako je pri paketiranju treba upoštevati razlikovanje elektromagnetnih lastnosti v prečni in vzdolžni smeri valjanja pločevinastega traku. Lamelle za elektromotorje proizvodimo s hitrohodnim štancanjem, pri čemer uporabljamo najnovejše tehnologije in sodobne trende v tej industriji. Pri nekaterih projektih za izdelavo testnih vzorcev in manjših serij lamel uporabljamo tudi tehnologijo laserskega rezanja.

Z različnimi vrstami obrezilnih orodij in specializiranimi prešami izdelujemo različne vrste lamel oz. materialov za sestavo paketov. Proces je tako avtomatiziran, da vključuje tudi v sam proces stiskalno-merilne naprave in pakiranje izdelkov, pri tem pa zagotavlja visoko kakovost in zanesljivost procesa.

Pri izdelavi lamel in statorskih paketov lahko vključimo tudi proces žarjenja. Za sestavo paketov se uporabljajo različni procesi kot so: kovičenje, lasersko varjenje ali lepljenje.

Statorski paketi se lahko uporabljajo v različnih vejah industrije. So nepogrešljivi del avtomatiziranih linij, vesoljskih in medicinskih tehnologij, industrijskih motorjev, črpalk in sistemov za oskrbo z energijo, gretje ...



Slika 2: Stroj za izsekovanje (štancanje pločevine)
(Lastni vir)

4.1 IZDELAVA IN OPTIMIZACIJA PROGRAMA VARJENJA ZA STATORSKI PAKET

Za izdelavo in optimizacijo programa varjenja za statorski paket laserskega varjenja je treba upoštevati več dejavnikov, kot so: vrsta materiala, debelina materiala, hitrost varjenja, oblika in velikost obdelovanca ter zahtevana kakovost varjenja. Pri tem ne smemo pozabiti tudi na učinkovitost proizvodnje in zmanjšanje časa varjenja. To se lahko doseže z uporabo različnih optimizacijskih algoritmov, ki nam izračunajo optimalne parametre varjenja za točno določen obdelovanec. V celoti bi bilo treba preučiti vse naše potrebe, zahteve in namene za izdelavo in optimizacijo programa za varjenje.

V prvi fazi pred izdelavo oziroma varjenjem statorskega paketa je treba izbrati prave parametre, ki so: moč laserja, frekvenca pulziranja in hitrost gibanja laserskega žarka. Ti parametri se lahko razlikujejo glede na vrsto materiala in debelino pločevine, ki jo varimo. Za optimizacijo programa varjenja je treba izvesti poskusne

serije varjenja in preveriti kakovost varjenja (trdota spoja, oblika varjenega spoja in morebitne druge napake ali porušitve materiala).

Pri programiranju varilnega robota ali CNC-stroja za lasersko varjenje je treba upoštevati geometrijo in velikost obdelovanca ter natančnost gibanja. Pri tem je treba upoštevati tudi zmanjšanje toplotnega vpliva na material in zagotoviti ustrezno hlajenje obdelovanca.

Izdelava in optimizacija programa varjenja za statorski paket vključuje naslednje korake:

Analiza zahtev za varjenje

Pred začetkom izdelave varilnega programa je treba opraviti analizo zahtev za varjenje, ki vključuje material statorskega paketa, debelino materiala, dimenzije, tolerančne zahteve in druge posebne zahteve.

Določitev nastavitve laserja: Na osnovi analize zahtev za varjenje je treba določiti najprimernejše nastavitve laserja, kot so: moč, hitrost in fokusna točka. Ti parametri so ključni za zagotavljanje kakovosti varjenja.

Načrtovanje varilnega programa: Po določitvi nastavitve laserja je treba načrtovati varilni program. To vključuje določitev varjenja, ki zagotavlja ustrezno prekrivanje in kakovostno varjenje ter določitev hitrosti varjenja in drugih parametrov.

Preizkus varilnega programa: Po načrtovanju varilnega programa je treba izvesti preizkus, ki omogoča oceno kakovosti varjenja. Če je potrebno, se lahko program prilagodi.

Optimizacija varilnega programa: Na osnovi rezultatov preizkusa je treba optimizirati varilni program, da se doseže najboljša kakovost varjenja.

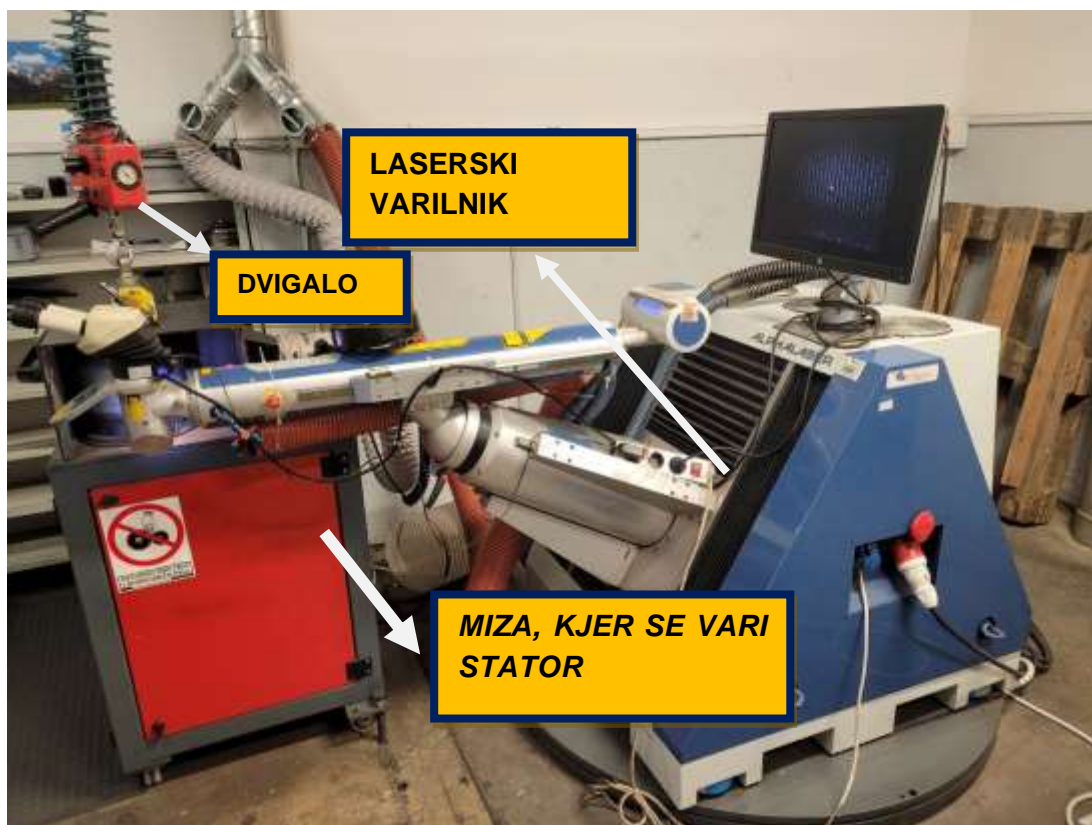
Validacija varilnega programa: Ko je program optimiziran, je treba izvesti še en preizkus za potrditev, da program zagotavlja kakovostno varjenje in izpolnjuje vse zahteve.

Dokumentiranje varilnega programa: Po uspešni validaciji je treba varilni program dokumentirati vključno z nastavitvami laserja, s parametri varjenja in postopkom varjenja. Dokumentacija zagotavlja sledljivost in omogoča ponovljivost postopka varjenja.

Celoten postopek izdelave in optimizacije varilnega programa je ključen za zagotavljanje kakovostnega varjenja statorskega paketa in izpolnjevanje zahteve kupca oziroma stranke.

4.2 POTEK DELA OZ. PROCES VARJENJA

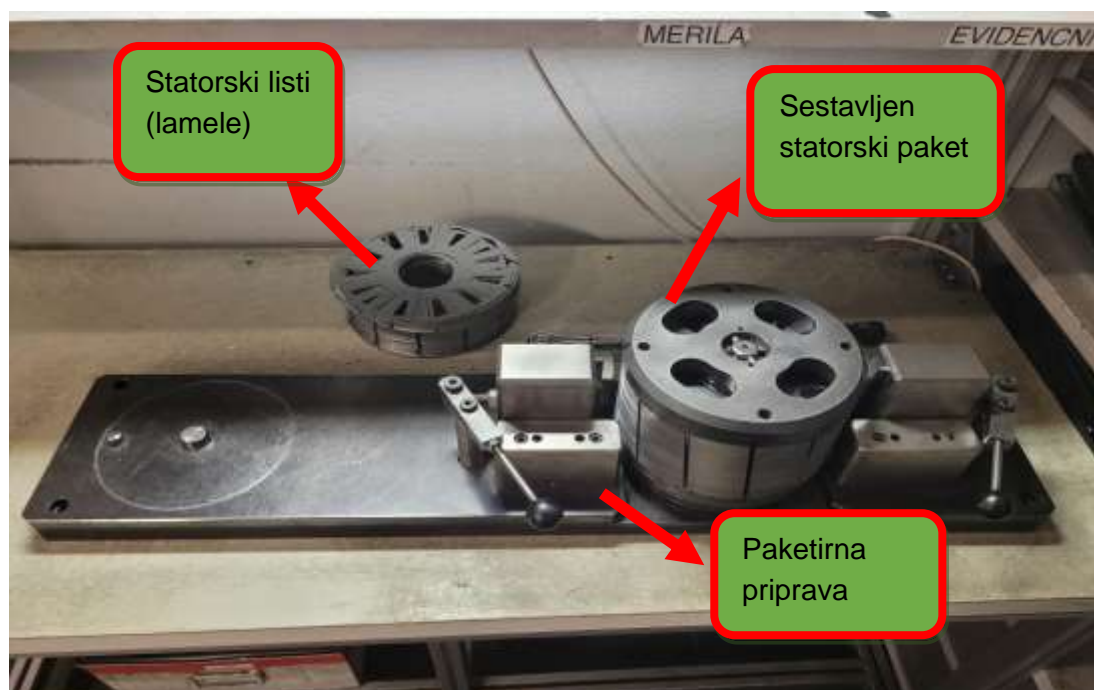
Za proces varjenja uporabljamo laserski varilnik Alphaser ALFlak 200S. Proces varjenja poteka z napravo, pri čemer paket postavimo s pomočjo dvigala in se med varjenjem kos vrti. Varjenje se izvaja v tako imenovani zaščitni atmosferi, pri tem uporabljamo zaščitni plin argon.



Slika 3: Laserski varilnik ALFlak 200S
(Lastni vir)

Delavec sestavi statorske pakete s pomočjo paketirne priprave. Leva stran priprave se uporablja za izpenjanje kosov in desna stran za vpenjanje kosov.

Ko delavec izpne zvarjeni paket, prestavi ležišče paketa iz izpenjalne na vpenjalno stran, nato ležišče zlaga lamele do predpisane višine. Višina statorskega paketa je določena oziroma napisana v tehnološkem postopku (99,70 do 100,30 mm).



Slika 4: Paketirna priprava
(Lastni vir)

Višino statorskega paketa pomerimo s pomičnim kljunastim merilom, v tem primeru je toleranca (99,70–100,30 mm). Na zložene lamele položimo pokrov, ki ga zategnemo s pomočjo moment ključa. Pri prenosu statorskih paketov s paketirne priprave si pomagamo s pomočjo dvigala. Spodaj v tabeli imamo tudi napisano vrsto dela oziroma faze dela pri procesu izdelave statorskega paketa (Šubic, 2022).

Oznaka operacije	Naziv operacije	Vrsta operacije
1. operacija	Premeščanje ležišča paketa	Ročno
2. operacija	Sestava paketa	Ročno
3. operacija	Prenos paketa z mize na varilnik	Mehanizirano
4. operacija	Varjenje	Mehanizirano
5. operacija	Prenos paketa z varilnika na mizo	Mehanizirano
6. operacija	Izpenjanje paketa	Ročno
7. operacija	Nadzor višine paketa	Ročno
8. operacija	Pakiranje	ročno

Slika 5: Faze dela
(Lastni vir)

4.3 SPAJANJE STATORSKIH LAMEL

Statorske lamele so sestavni del statorja v elektromotorjih. Da bi se zmanjšal pojav izgub zaradi Foucaultovega toka, so lamele izdelane iz elektro pločevine in so med seboj ločene s tankimi izolacijskimi sloji.

Za spajanje statorskih lamel se uporabljajo različni postopki, odvisno od velikosti statorja in natančnost, ki je potrebna. Nekateri najpogostejši postopki za spajanje statorskih lamel so:

- Sestavljanje s pomočjo lepila: V tem postopku se uporablja posebno lepilo, ki se nanese na statorske lamele. Nato se lamele sestavijo v skladu s specifikacijami in pritisnejo skupaj, dokler se lepilo ne posuši in oprime. Ta postopek je primeren za manjše motorje in kjer ni potrebna visoka natančnost.
- Sestavljanje s pomočjo zakovic: Zakovičenje statorskih lamel je proces, pri katerem se uporabljajo posebni zakovičeni trakovi ali zaporke, ki se pritrdijo na robove statorskih lamel. Ta postopek se običajno uporablja pri izdelavi velikih motorjev, kjer sta potrebni visoka natančnost in močna vez.

Slaba lastnost spajanja s kovicami je njihovo točkovno vpetje, s tem povzroča napetost statorja, s čimer kovice oslabijo jedro paketa, zato običajno ne zadoščajo zahtevam sodobnih elektromotorjev.

Za proces varjenja paketov običajno uporabljamo varilne postopke brez dodajanja dodatnega materiala. Največkrat gre za varjenje z laserjem (lasersko varjenje). Pri procesu varjenja moramo biti pozorni tudi na kakovost statorskih listov kot vhodnega materiala, ki ga dobimo za varjenje. Velikokrat dobimo v zabojih tudi zvite, zlomljene lamele (statorske liste). S tem posledično ne dobimo kakovosti povarjenega izdelka.

Vse te metode imajo svoje prednosti in slabosti, odvisno od velikosti in specifikacij motorja. Pomembno je, da se izbere pravi postopek za spajanje statorskih lamel, da se dosežeta najboljši možni rezultat in trajnost motorja.



*Slika 6: Zvit statorski list oz. lamela
(Lastni vir)*

5 NASTAVITVE VARJENJA STATORSKIH PAKETOV

Statorski paketi so sestavni del statorja v elektromotorjih, ki vsebujejo statorske lamele, ki so med seboj povezane s pomočjo postopka varjenja. Nastavitve varjenja statorskih paketov so ključnega pomena za zagotovitev močne in zanesljive vezave med lamelami, kar je pomembno za učinkovitost in življenjsko dobo elektromotorja.

Nekateri ključni dejavniki, ki vplivajo na nastavitve varjenja statorskih paketov, so:

- Vrsta varjenja: Obstaja več vrst varjenja, ki se lahko uporabljajo za varjenje statorskih paketov, kot so uporovno varjenje, lasersko varjenje, ali TIG-varjenje. Vsaka metoda ima svoje prednosti in slabosti.
- Tok varjenja: Tok varjenja je pomemben dejavnik pri varjenju statorskih paketov, saj ima neposreden vpliv na moč in trajnost vezave. Previsok tok lahko povzroči poškodbe ali celo pretrganje lamel. Prenizek tok lahko povzroči šibko vezavo med lamelami. Tok varjenja je treba nastaviti glede na debelino lamel in material, iz katerega so izdelane.
- Čas varjenja: Čas varjenja se nanaša na čas, ki ga potrebuje postopek varjenja za doseg ustreznega toka. Prekratek čas varjenja lahko povzroči neustrezno vezavo, medtem ko predolgo varjenje lahko povzroči pregrevanje in deformacijo lamel.
- Pritisk: Pritisk, ki se uporablja pri varjenju statorskih paketov, je pomemben za zagotovitev, da se lamele med varjenjem tesno stisnejo skupaj. Preveč ali premalo pritiska lahko povzroči neustrezno vezavo in slabše magnetne lastnosti.
- Poraba energije: Pri varjenju statorskih paketov se porabi določena količina energije, ki je odvisna od vrste varjenja, debeline lamel in drugih dejavnikov. Poraba energije je pomemben dejavnik pri izbiri ustrezne metode varjenja ter zagotavlja, da je postopek varjenja učinkovit in ekonomičen.

Nastavitve varjenja statorskih paketov so odvisne od specifikacij motorja in materiala, iz katerega so izdelane lamele. Priporočljivo je, da se pred varjenjem opravi testni vzorec, da se zagotovi, da so nastavitve pravilne in da se dosežejo ustrezne magnetne lastnosti.

Varjenje statorskih paketov v elektromotorjih je ključni postopek za zagotavljanje trdnosti in zanesljivosti motorja. Nastavitve varjenja morajo biti pravilno izbrane, da se dosežejo optimalni rezultati. Nekatero splošne smernice za nastavitve varjenja statorskih paketov so: določitev optimalnih nastavitvev stroja, hitrost varjenja, material statorskega paketa, velikost paketa, moč impulzov ...

Nastavitve varjenja statorskih paketov

Za nastavitve varjenja statorskih paketov je treba upoštevati več dejavnikov, kot so velikost statorskega paketa, material paketa in žice ter zahtevane specifikacije.

Splošne smernice za nastavitve varjenja statorskih paketov so:

- Določite optimalne nastavitve za varilni stroj, kot so hitrost varjenja, moč in napetost. Te nastavitve bodo odvisne od materiala in velikosti statorskega paketa ter debeline žice.
- Poskrbite za ustrezno pripravo delovnih površin statorskih paketov, da boste lahko varili s čim manjšim naporom. Odstranite vse okside in druge nečistoče s površine.
- Uporabite ustrezno zaščitno opremo, kot so očala, rokavice in maska za varjenje, da se zaščitite pred morebitnimi poškodbami in sevanjem.

Spodaj si bomo ogledali, kako poteka v praksi nastavitve varjenja statorskih paketov, od programa do nastavitve stroja, parametrov, ustrezne moči laserja ...

Prva faza pri nastavitvi stroja je, da zamenjamo lečo in pazimo, da jo pravilno obrnemo (navpično proti statorju).



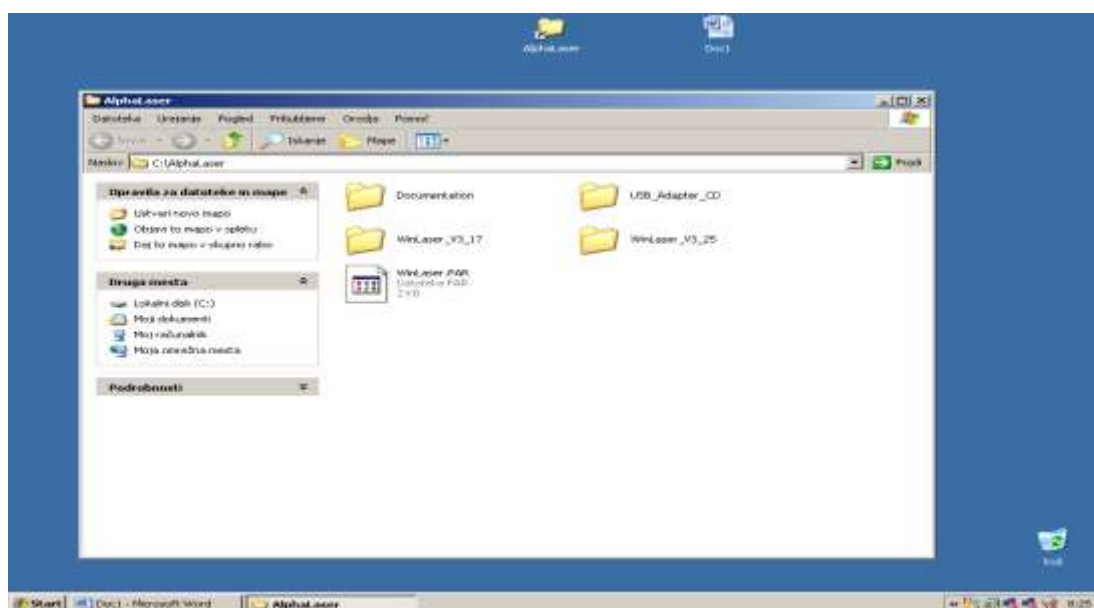
*Slika 7: Leča za varjenje
(Lastni vir)*

Nato napravo na vrtljivem podstavku obrnemo proti napravi za vrtenje paketa. S pomočjo smernih tipk nastavimo parametre varjenja (240 V, 4,0 ms, 39 Hz, 0,5 Φ).



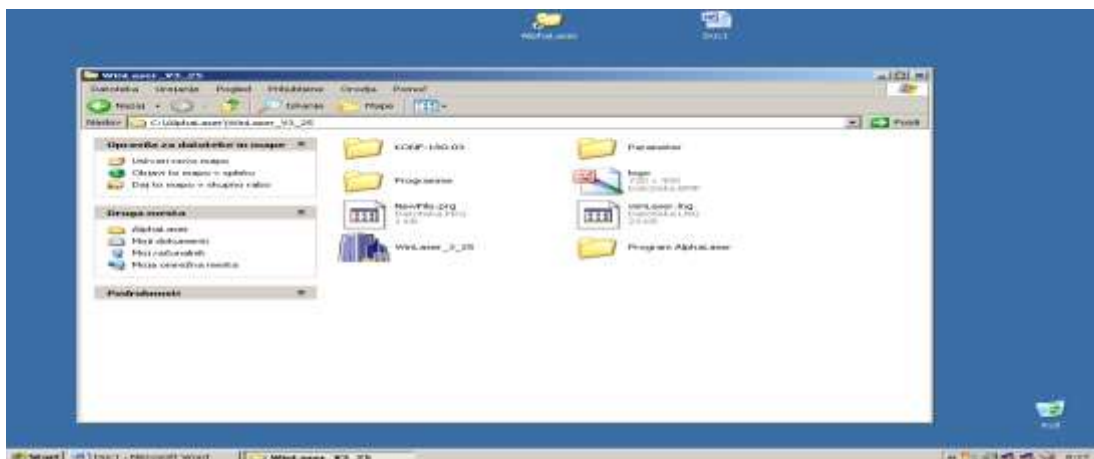
Slika 8: Parametri stroja
(Lastni vir)

Nato vklopimo računalnik in dvokliknemo mapo AlphaLaser, kjer nato dvokliknemo mapo winLaser_V3_25.



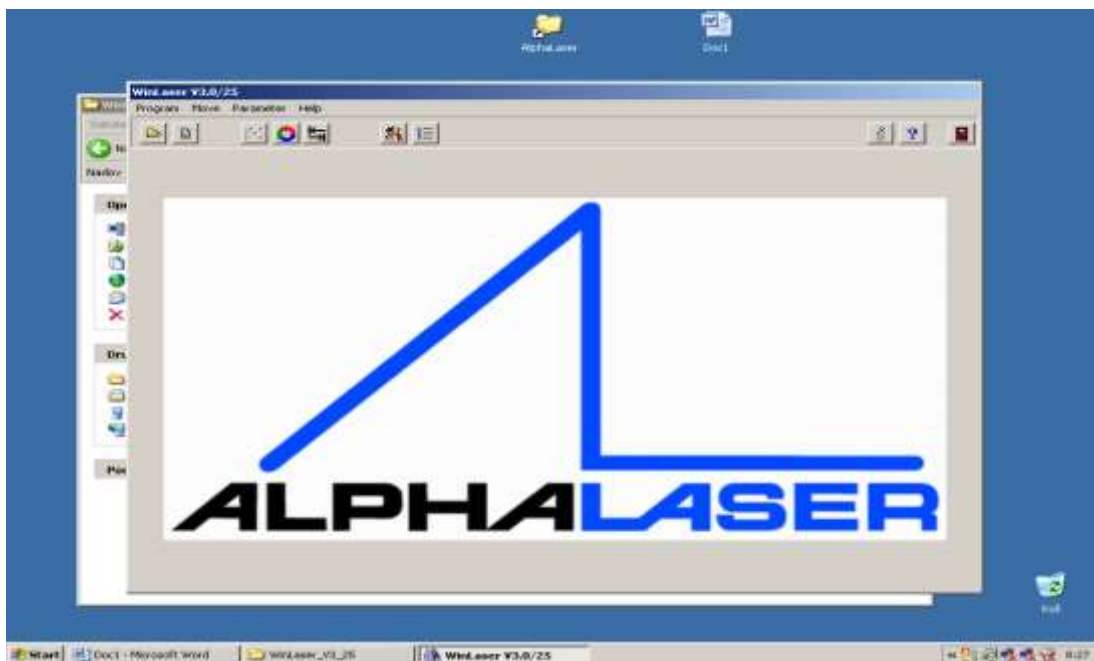
Slika 9: Mapa, kjer je datoteka do programa
(Lastni vir)

Nato kliknemo ikono winLaser.



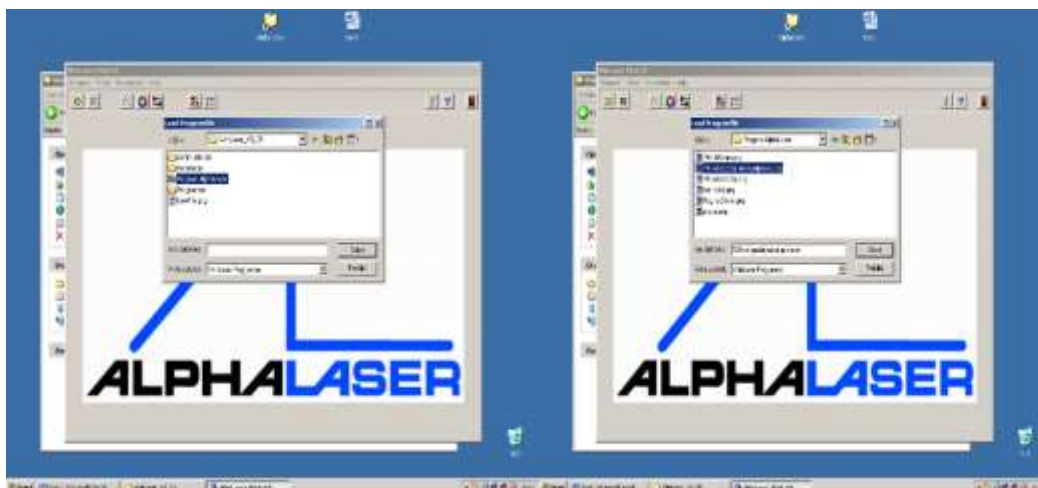
Slika 10: Datoteke programa
(Lastni vir)

Na naslednjem zaslonu izberemo ikono za iskanje programa in jo kliknemo.



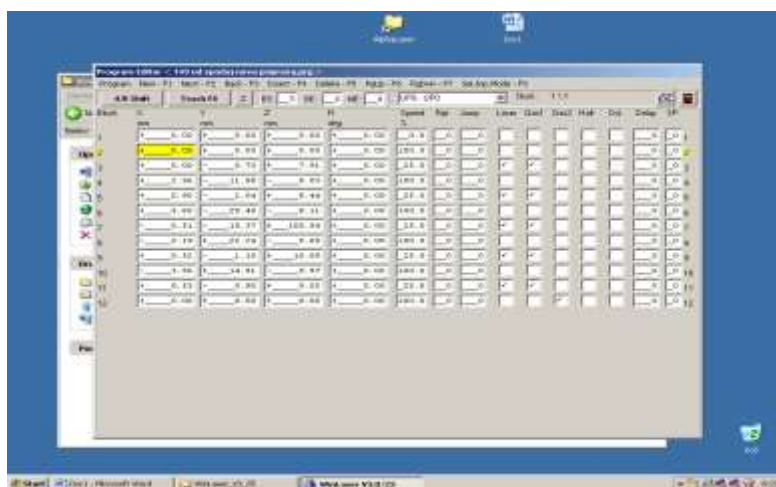
Slika 11: Prva stran programa
(Lastni vir)

Na naslednjem zaslonu dvokliknemo mapo Program AlphaLaser (leva slika) in nato dvokliknemo 749 spodaj nova priprava. Prg (desna slika).



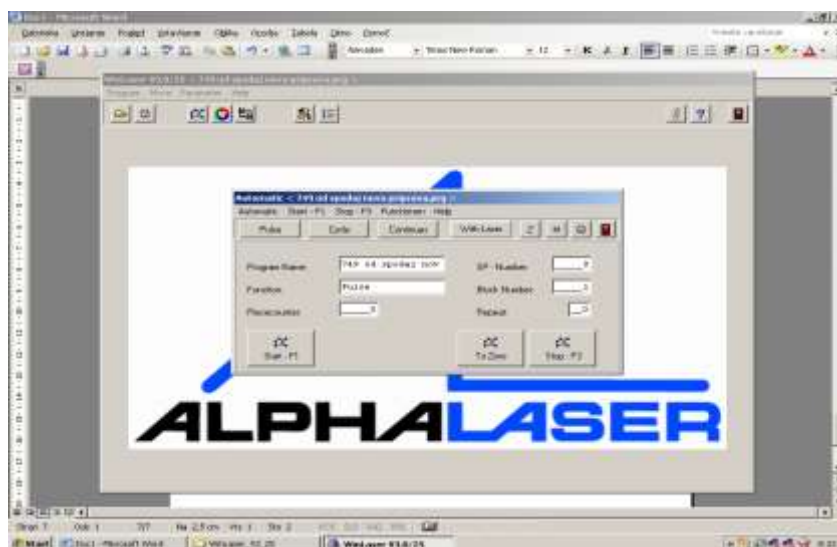
Slika 12: Nastavitve programa
(Lastni vir)

Sedaj je treba nastaviti začetno točko varjenja na varilnem aparatu s pomočjo »joysticka«. Točko je treba nastaviti 5–6 mm od roba pola in do 1 mm pod spodnjim robom paketa. Nato kliknemo ikono za zagon programa, da dobimo naslednji zaslón.



Slika 13: Koordinate varjenja
(Lastni vir)

Tukaj kliknemo Cycle, da izberemo ciklično ponavljanje programa, in Z, da potrdimo nično točko, ki smo jo prej ročno nastavili na varilnem aparatu. Ko nas vpraša, ali želimo shraniti spremenjeno točko, izberemo YES. Nato izberemo le še start in začnemo.



Slika 14: Zagon programa
(Lastni vir)

5.1 PAKIRANJE STATORSKIH PAKETOV

Pakiranje statorskih paketov se nanaša na postopek pakiranja elektromotorjev, ki vključujejo statorske pakete. Statorski paketi so osnovna komponenta elektromotorjev in so sestavljeni iz številnih plasti laminirane kovine. Pri procesu pakiranja statorskih paketov moramo v prvi fazi izdelati oziroma sestaviti statorski paket s pomočjo paketirne priprave, kot smo jo omenili v prejšnjih poglavjih.



Slika 15: Zaboje s statorskimi paketi
(Lastni vir)

Ko imamo statorski paket izdelan, je naša glavna naloga, da ga pomerimo s pomičnim kljunastim merilom, nato sledi postopek vizualnega preverjanja statorskega paketa, posebno pozornost moramo nameniti zvarom (če so vsa statorska polja povarjena). Sledi tudi vizualni pregled lamel, kar zajema predvsem to, da med statorjem ni kakšna (zvita, počena) lamela.

Ko smo statorski paket pregledali, ga postavimo v zaboj, od koder smo jemali material za sestavo statorskega paketa. V zaboj gre lahko maksimalno 48 statorskih paketov. Zlagamo jih po štiri v višino oziroma 12 v vrsto. Ko smo zaboj zapolnili s statorskimi paketi, moramo obvezno izpolniti evidenčni list. Na tem listu napišemo delovni nalog, operacijo, vrsto materiala (statorskih listov) in število izdelanih kosov (statorskih paketov).

Pakiranje statorskih paketov je pomembno zaradi varnosti, saj lahko nepravilno pakiranje povzroči poškodbe med transportom. Prav tako je pomembno za zaščito pred zunanjimi vplivi, kot so: prah, vlaga, vibracije, ki lahko negativno vplivajo na delovanje elektromotorja. Nekateri postopki pakiranja vključujejo tudi uporabo različnih materialov, kot so: pena, karton, folija, les ...

Pri pakiranju je pomembno upoštevati tudi navodila kupca, saj lahko ta določi posebne zahteve glede pakiranja in prevoza oziroma transporta. S pravilnim pakiranjem lahko zagotovimo, da bo elektromotor prispel na svoj cilj v dobrem stanju in brez poškodb.



*Slika 16: Povarjeni statorski paket
(Lastni vir)*

5.2 EVIDENČNI LIST

Kot smo že omenili v prejšnjih poglavjih, je v našem podjetju na vsakem delovnem mestu evidenčni list. To je dokument vsakega delovnega mesta v podjetju. Nanj se vpišejo količina kosov, ki smo jih naredili, delovni nalog, koda izdelka ter na koncu še datum in podpis zaposlenega, ki dela na tem delovnem mestu.

Evidenčni list služi tudi za lažje spremljanje proizvodnega procesa. Pri tem imajo mojstri oziroma nadrejeni lažji pregled, koliko kosov smo naredili, lažje se ugotovi, če pride do reklamacije, kdo je naredil npr. izmetne kose, ipd. Evidenčni list spremlja celoten proizvodni proces. Od vhodnega materiala, ki pride v podjetje, do končnega izdelka, ki ga pošljemo kupcu. Ko izdelek pride do skladišča, mora skladiščnik vnesti vsako paleto v sistem posebej, da se lažje skladiščijo izdelki, in zaradi preglednosti materiala, koliko ga porabimo.

Slika 17: Evidenčni list
(Lastni vir)

6 LASERSKI VARILNIK ALPHALASER ALFLAK 200S

Alphalaser ALFlak 200S je laserski varilni stroj, ki se uporablja za varjenje kovinskih materialov. Ta stroj uporablja laserski žarek, ki se osredotoči na majhno območje na kovinskih delih, ki jih je treba variti. Laser nato tali kovino in ustvari trajno vez med obdelovanci.

Laserski varilni aparat ALFlak je izjemno prilagodljiv pri izbiri laserskega varjenja. Je izjemno močna laserska varilna naprava z visoko lasersko močjo in velikim dosegom. Dobro dodelan mehanizem premikanja in (štrleča) laserska roka nam omogočata fleksibilno delo pri različnih pogojih dela ter omogočata varjenje najkompleksnejših oblik in različnih velikosti varjencev. Doseči je mogoče neprekinjeno varjenje do globine 340 mm.

ALFlak 200S je ena od serije Alphalaserjevih laserskih varilnih strojev, ki so namenjeni proizvodnim popravilom in raziskavam. Stroj je opremljen z različnimi funkcijami, ki omogočajo natančno in učinkovito varjenje, kot so možnost reguliranja širine laserskega žarka, možnost reguliranja časa in energije varjenja ter samodejno sledenje spoja. Naprava je primerna za varjenje različnih vrst kovin, kot so: jeklo, aluminij, baker, titan in drugi materiali.

S tem prihranimo čas, saj nenehno prestavljanje ni potrebno. Za kakovostnejše delo lahko namestite tudi samodejno podajanje žice (AL-DV). ALFlak je na voljo tudi z lastnim pogonom, ročnim premikanjem ali tudi z gosenicami, ki mu omogočajo premikanje. Gosenice omogočajo laserskemu varilniku preprosto manevriranje. Naprava se pozicionira s centimetrovsko natančnostjo po dveh neodvisnih (potovalnih) stikalih (Alphalaser, 2023).



Slika 18: Stroj ALFlak 200S
(Lastni vir)

Prednosti ALFlaka 200S so:

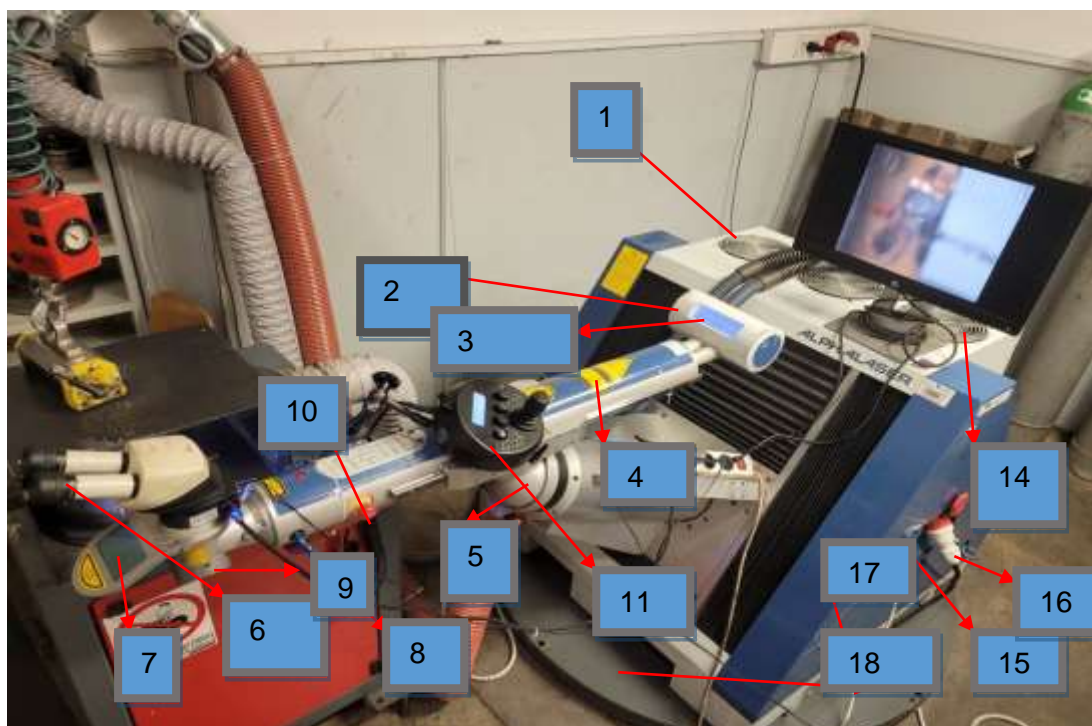
- odprt laserski sistem, ki nima omejitev v delovnem prostoru,
- omogoča varno delo in visoko stopnjo zmogljivosti,
- hitra uporaba zahvaljujoč kratkim časom nastavitve,
- velik delovni radij – zahvaljujoč posebnemu konceptu stroja,
- velike poti gibanja – možni so varilni zvari do 340 mm globine,
- zmogljivost je lahko do 900 vatov,
- trdna konstrukcija, popolna za programirano varjenje,
- natančnost s pomočjo »joysticka«,
- programiranje s pomočjo programske opreme WINLaserNC,
- preprost za uporabo.

Slabosti ALFlaka 200S so:

- zasede veliko prostora,
- nevarnosti poškodbe oči,
- laserski žarek lahko opeče kožo,
- transport,
- cena,
- nevarnost sevanja.

6.1 SESTAVNI DELI LASERSKEGA VARILNIKA ALFLAK 200S

Spodnja slika prikazuje laserski varilnik z vsemi sestavnimi deli. Različica ALFlak 200S omogoča, da je laserska (glava) natančno nameščena, in omogoča pomik v vseh treh smereh (x, y, z). Za natančno pozicioniranje laserske glave oziroma osi na obdelovancu nam omogoča »joystick« s pomočjo nadzora računalnika.



Slika 19: Stroj za varjenje
(Vir: Alphalaser, 2023)

Legenda:

- | | |
|--------------------------------------|--|
| 1 dovodni cevi | 15 vijaki za odpiranje str. pokrova |
| 2 protiutež | 16 priključek za el. omrežje |
| 3 zaslon | 17 priključki (očesni vijaki za transport) |
| 4 resonator | 18 trdna podlaga |
| 5 resonatorski spoj (kroglični spoj) | |
| 6 nastavek za mikroskop | |
| 7 zaščitno okno | |
| 8 curek zaščitnega plina | |
| 9 svetilka | |
| 10 tipka v sili | |
| 11 zunanja operacijska enota | |
| 12 večnamensko nožno stikalo | |
| 13 nevidni laserski žarek | |

14 prezračevalne reže za odvod zraka

7 RAZLOGI ZA OPTIMIZACIJO PROGRAMA ZA LASERSKO VARJENJE

Za optimizacijo oziroma pohitritev programa smo se odločili na osnovi povečanja naročil statorskih paketov, zaradi kakovosti zvarov na statorju in povečanja dobička. Obstajajo tudi drugi razlogi za optimizacijo programa, ki lahko pripomorejo k izboljšanju kakovosti varjenja in ostalih lastnosti, saj lahko program omogoči natančnejše in enakomernejše varjenje ter zmanjša količino napak.

- Zmanjšanje časa varjenja: Učinkovitejši program lahko zmanjša čas, ki ga potrebujemo za izvedbo postopka varjenja. To lahko pripomore k zmanjšanju stroškov in izboljšanju produktivnosti, s čimer ustvari dobiček podjetju.
- Izboljšanje kakovosti varjenja: Optimizacija programa lahko pripomore k izboljšanju kakovosti varjenja, saj lahko program omogoči natančnejše in enakomernejše varjenje ter zmanjša količino napak.
- Zmanjšanje porabe energije: Učinkovitejši program lahko zmanjša porabo energije, kar ima lahko pozitiven učinek na okolje, in zmanjša stroške obratovanja.
- Povečanje zanesljivosti postopka: Optimizacija programa lahko izboljša zanesljivost postopka varjenja in zmanjša možnost za napake, kar lahko poveča zaupanje v proces in zmanjša potrebo po popravilih.
- Prilagodljivost: Optimizacija programa lahko omogoči boljšo prilagodljivost postopka varjenja različnim zahtevam in specifikacijam, kar lahko prispeva k večji prilagodljivosti proizvodnega procesa.
- Zmanjšanje odpadkov: Učinkovitejši program lahko zmanjša količino odpadkov, ki nastanejo med postopkom varjenja, kar lahko zmanjša stroške in izboljša okoljski odtis proizvodnega procesa.
- Konkurenčnost: Optimizacija programa lahko pomaga pri izboljšanju konkurenčnosti podjetja. Z boljšo kakovostjo varjenja, večjo učinkovitostjo in manj napakami lahko podjetje izboljša svojo ponudbo na trgu ter pritegne nove stranke in posle.

V skladu s tem je optimizacija programa za lasersko varjenje ključna za doseganje boljše kakovosti, večje učinkovitosti, manj napak in prilagodljivosti ter izboljšanje konkurenčnosti podjetja na trgu.

7.1 DEFORMACIJE VARJENCEV

Med laserskim varjenjem je material, ki ga varimo, podvržen termičnim ciklom, ki se sestojijo iz segrevanja, taljenja, uparjanja, strjevanja in ohlajanja materiala v tem

primeru (statorskih listov). Znano je, da so termični cikli s pomočjo volumskega razteznostnega koeficienta neposredno povezani s spremembami volumna materiala. Te spremembe posledično vodijo do deformacij varjencev.

7.2 NAPAKE NA ZVARIH STATORSKEGA PAKETA

Ko smo s tehnologijo oziroma z razvojniki naredili vzorčne kose, smo opazili, da so se začele pojavljati napake na zvarih statorskih polj. Napake na zvarih statorskega paketa lahko vključujejo tudi naslednje dejavnike, kot so:

- Neustrezno varjenje: Slabo varjenje ali neustrezna kakovost varjenja lahko povzroči oslabitev trdnosti in trdote materiala, kar lahko privede do težav pri delovanju motorja.
- Slaba priprava površine: Pred varjenjem je treba površino temeljito očistiti, da se odstranijo vse nečistoče, maščobe in drugi ostanki. Če tega ne storimo, lahko povzroči, da se varjenje ne drži dovolj dobro.
- Slaba kakovost materialov: Če so uporabljeni materiali slabe kakovosti ali niso ustrezni za aplikacijo, lahko to povzroči oslabitev statorskega paketa, kar lahko privede do okvar.
- Nepravilno hlajenje: Če se statorski paket ne ohlaja ustrezno, lahko to povzroči pregrevanje in deformacijo statorskega paketa, kar lahko privede do okvar.
- Neustrezen nadzor kakovosti: Če se ne izvaja ustrezen nadzor kakovosti med procesom varjenja, lahko to povzroči, da se napake na zvarih ne odkrijejo pravočasno, kar lahko privede do resnih težav v prihodnosti.
- Poroznost: To je napaka, ki se pojavi, ko se v zvaru pojavijo majhne luknjice zaradi plinskih mehurčkov, ki ostanejo ujeti med postopkom varjenja. Poroznost lahko zmanjša trdnost zvarnega spoja in vpliva na delovanje statorskega paketa.
- Čezmerna toplota: Čezmerna toplota med postopkom varjenja lahko povzroči deformacijo zvarnega spoja in oslabi trdnost zvarnega spoja. To lahko povzroči tudi razpoke v statorskem paketu.

Vse te napake lahko vplivajo na trdnost, zanesljivost in trajnost statorskega paketa ter lahko povzročijo okvare in odpovedi, zato je pomembno, da se zvarni proces izvaja strokovno in s kakovostnim varilnim aparatom ter ustrezno spremlja in testira kakovost zvarov.

7.3 SKRAJŠANJE CIKLA VARJENJA

S tehnologijo smo se odločili skrajšati cikel varjenja (prazne gibe stroja oziroma varilnika). Pred optimizacijo je bil čas varjenja statorskega paketa 6,25 min in po optimizaciji 4,30 min. Ugotoviti smo, da lahko stroj (laserska šoba) naredi na polju prva dva zvara na levi in desni strani polja, potem naredi še sredinsko črto zvara, šele nato se šoba spusti proti spodnjemu delu polja statorja, kjer naredi isto. Nato

miza varilnega stroja zavrti stator in se cikel ponovi od spodaj navzgor, s čimer prihranimo čas varjenja. Da nam stator ne bi razpadel, smo se odločili povečati moč stroja in spremeniti parametre stroja. Na te zahteve, ki smo jih naredili, vplivajo še drugi dejavniki, ki jih ne smemo pozabiti.

- Uporaba boljše oziroma kakovostnejše opreme: Naprednejši varilni stroji omogočajo hitrejše in učinkovitejše varjenje. Razmislimo o nakupu novejšega stroja, če se pogosteje srečujemo s podaljšanimi cikli varjenja.
- Izboljšanje priprave materiala: Pred varjenjem poskrbimo, da so materiali dobro pripravljene, da se izognemo nepotrebemu času, porabljenemu za pripravljanje materiala med varjenjem.
- Spremembe nastavitve varjenja: S prilagajanjem nastavitve varjenja, kot so hitrost varjenja, moč in napetost, lahko skrajšamo cikel varjenja. Vendar moramo biti pozorni, da se kakovost varjenja ne poslabša zaradi prehitrega dela.
- Izogibanje prevelikim varjenim spojem: Preveliki varjeni spoji lahko povečajo čas varjenja, zato je priporočljivo, da se uporabijo ustrezne dimenzije za varjenje, ki se bodo lahko hitro in učinkovito obdelale.



Slika 20: Novi parametri stroja
(Lastni vir)

8 NASTAVITEV LEČE ZA VARJENJE

S pomočjo mikroskopskega nastavka laserski žarek natančno namestimo nad obdelovanec. Mikroskopski nastavek je opremljen s fiksnim objektivom (standardno) ali z (opcijskim) obračalnim/naklonskim objektivom. Višina, na kateri je obdelovanec oziroma predmet izostren skozi nastavek mikroskopa, ustreza goriščni točki laserja (9,12 ali 15 cm pod izhodom žarka). To je idealna višina za obdelavo oziroma varjenje obdelovanca. Pri nastavljanju leče za varjenje je pomembno upoštevati tudi naslednje dejavnike, kot so:

- Vrsta varjenja: Odvisno od vrste varjenja (MIG,TIG, elektroda itd.) se lahko zahteva drugačna stopnja zatemnitve leče.
- Amperaža: Višja kot je amperaža, bolj zatemnjena leča bo potrebna.
- Material: Različni materiali absorbirajo svetlobo na različne načine, kar lahko zahteva drugačno stopnjo zatemnitve leče.

Nastavek za mikroskop vsebuje filter, ki ščiti oči pred laserskim sevanjem in intenzivnim UV-sevanjem, ki nastaja med vsemi postopki varjenja. Zato je vidno polje skozi nastavek za mikroskop za kratek čas zatemnjeno za čas trajanja vsakega laserskega impulza. Objektiv mikroskopskega nastavka je opremljen z obročasto lučko z diodami za osvetlitev obdelovanca.



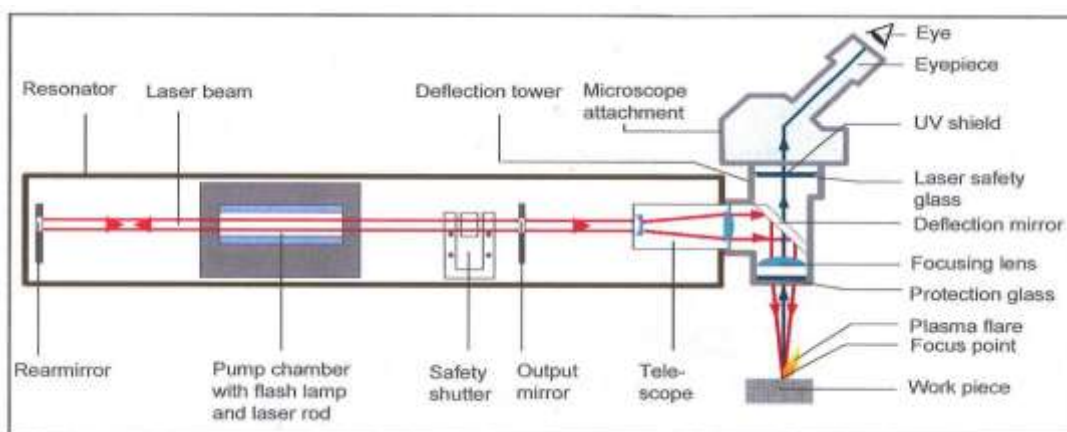
*Slika 21: Leča za varjenje
(Lastni vir)*

9 OSNOVNA NAČELA LASERSKEGA VARJENJA

Laser pomeni svetlobno okrepljeno stimulirano emisijo sevanja. Laser je torej ojačana svetloba, ki nastane s stimulacijo emisije sevanja. Ojačevalec svetlobe v laserju je paličasti kristal z neodimom dopiranega itrijevega granata, ki ga vzbudi svetlobni impulz iz paličaste bliskavice. Visoko zmogljiv reflektor zagotavlja, da se svetloba iz svetilke učinkovito poveže z laserskim kristalom. Za ojačanje in

usmerjeno oddajanje laserske svetlobe sta v resonatorju zunaj kristala dve zrcali, ki sta postavljeni tako, da se svetloba, oddana iz kristala, odbija nazaj nanj in s tem nazaj v kristal.

Eno od zrcal je polprozorno, kar omogoča, da se iz resonatorja iztisne visoka koliminirana svetloba. Valovna dolžina tega sevanja je v izjemno omejenem območju okoli 1.064 nm. Prav ta izjemna usmerjenost in ozek valovni pas omogočata izjemno koncentracijo laserske energije na obdelovancu. Ta koncentracija energije je večkrat večja, kot bi bila mogoča z običajnimi viri svetlobe.



Slika 22: Shematski opis poti laserskega žarka
(Lastni vir)

Med laserskim impulzom se del obdelovanca v žarišču segreje na temperaturo, ki je višja od temperature taljenja materialov, ki jih je treba spojiti, zato se ti sprimejo in medsebojno difundirajo po razmeroma kratkem laserskem pulzu (0,5 ms do 20 ms). Staljeni materiali se ponovno strdijo in tako lahko nastanejo stabilni spoji. Kratkotrajna visoka koncentracija laserske energije na omejeni površini povzroči potrebno toploto za taljenje kovine.

Med varjenjem lahko napeljemo lasersko varilno žico, da položimo material ali popravimo napake na obdelovancu. V zaprtem krogu hladilne tekočine se filtrirana in prečiščena hladilna voda črpa skozi črpalno komoro laserja, kjer hladi bliskovno svetilko in lasersko palico. Toplotni izmenjevalnik in ventilator odvajata odpadno toploto v okoliški zrak.

Za zaščito varilnih šivov pred oksidacijo s kisikom iz zraka lahko uporabimo zaščitni plin, kot je argon, ki ga s curkom dovajamo neposredno na obdelovanec. Pretok plina se samodejno uravnava z nožnim stikalom, ko je laser aktiviran. Dim, ki nastane pri varjenju, se odvaja z zunanjim odvodom dima in filtrira.

9.1 OBRAČANJE OZ. NAGIBANJE LEČE

Če je ALFlak opremljen z opsijskim obračalnim/nagibnim objektivom, lahko laserski objektiv mikroskopskega nastavka nagnemo za 40 stopinj od navpičnice in ga tudi zasukamo okoli navpične nagibne vrtljive plošče. To zelo pospeši nastavev in pozicioniranje laserske glave na obdelovanec.



Slika 23: Cilj obračanja naklanjanja
(Lastni vir)

Obratni/nagibni objektiv ima v primerjavi z nepremičnim standardnim/objektivnim objektom naslednje prednosti:

- Objektiv za obračanje in nagibanje je opremljen z obračalno LED-lučjo, ki se premika skupaj z laserskim objektivom. To pomeni, da je obdelovanec vedno optimalno osvetljen.
- Lažje je dostopati do nerodnih položajev, medtem ko je laserski žarek lažje nastaviti tako, da na obdelovanec pade pod najboljšim možnim kotom.

9.2 OBRAČANJE IN NAGIBANJE OBJEKTIVA

9.2.1 1. nagibanje

- Sprostimo pritrdilni vzvod za gibanje titracije.
- Objektiv za ostrenje po želji nagibamo naprej ali nazaj.
- Ponovno zategnemo pritrdilni vzvod.

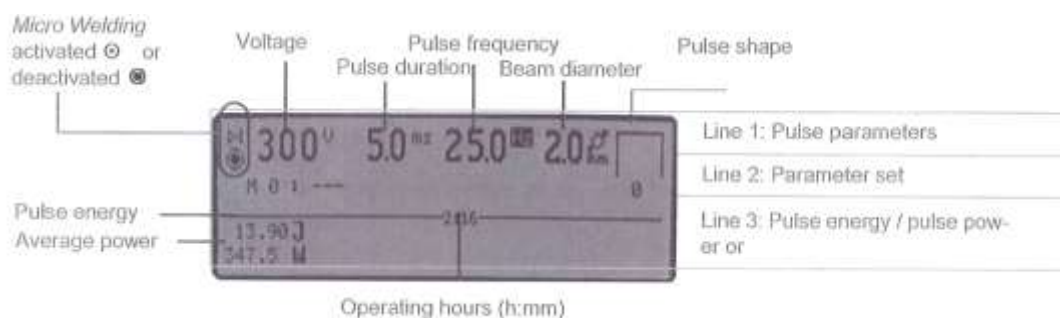
9.2.2 Obračanje

- Sprostimo pritrdilni vijak za vrtenje.

- Zasuk obrata/objekta pod želenim kotom.
- Ponovno nekoliko zategnemo vijak.

9.2.3 Nadzorna plošča/monitor

Nadzorna plošča se uporablja za upravljanje laserja. Ima zaslon in tipkovnico. Prikazovalnik v resonatorski protiuteži naprave ALFlak ima tri prikazane vrstice. Prikazuje trenutne parametre impulza, nastavljene trenutne parametre in sporočila, ki jih oddaja naprava.



Slika 24: Delovni čas
(Lastni vir)

V vrstici 1 so prikazani parametri, ki jih lahko nastavite za postopek varjenja. Nastavite lahko naslednje parametre.

- Aktivirajte funkcijo mikrovarjenja.
- Napetost v Voltih.
- Trajanje impulza v milisekundah.
- Frekvenca impulzov v hercih.
- Premer žarka.
- Oblika impulza.

V vrstici 2 so prikazane informacije o trenutnem naboru parametrov. V vrstici 3 sta prikazani trenutna energija impulza v Joulih in povprečna moč v vatih. Po potrebi so v tej vrstici prikazana tudi sporočila o trenutnem stanju naprave ALFlak. Tukaj je prikazan tudi čas delovanja naprave.

V tabeli 1 so prikazane težave pred in izboljšave po optimizaciji.

Postopek optimizacije	Pred izboljšavo	Po izboljšavi	Težave pred optimizacijo
Skrajšanje praznih hodov	Čas izdelave 6 min 25 s	Čas izdelave 4 min 30 s	Izguba časa na vsakem statorskem

			polju
Moč varilnega aparata	240 V, 4,0 ms, 38 Hz, 0,5 mm	250 V, 3 ms, 48,5 Hz, 0,5 mm	Stator je začel razpadati
Menjava vhodnega materiala	Kitajski dobavitelj (China steel)	Poljski dobavitelj (Posco)	Poškodovane lamele (ukrivljene, polomljene lamele)

Tabela 1: Težave pred in izboljšave po optimizaciji
(Lastni vir)

9.3 STROŠKI LASERSKEGA VARJENJA TEMPRANE LITINE

Cena laserskega varjenja temprane litine je odvisna od več dejavnikov.

- Količina: stroški se običajno zmanjšajo na kos, če se varijo večje serije.
- Velikost dela: večji deli zahtevajo več časa in več energije, zato bodo stroški laserskega varjenja višji.
- Zahtevnost obdelave: če je varjenje kompleksno in zahtevno, bo to zahtevalo več časa in višjo stopnjo natančnosti, kar bo prav tako vplivalo na stroške.
- Raven kakovosti: višji standardi kakovosti običajno pomenijo večje stroške.

Kljub temu je težko natančno navesti stroške laserskega varjenja temprane litine, saj se lahko razlikujejo glede na proizvajalca, lokacijo, določene zahteve stranke in druge dejavnike. Za natančno oceno stroškov se je najbolje obrniti na specializirano podjetje za lasersko varjenje, ki bo lahko ocenilo obseg dela in druge posebne zahteve.

9.3.1 Vloga varilne moči impulzov pri laserskem varjenju

Pri laserskem varjenju je varilna moč impulzov zelo pomembna, saj neposredno vpliva na kakovost in hitrost varjenja. Varilna moč impulzov je določena s parametri, kot so pulzna dolžina, frekvenca pulzov in energija pulzov.

Pulzna dolžina je časovna dolžina, v kateri se laser vklopi in izklopi. Daljša pulzna dolžina pomeni daljši čas osvetlitve, kar omogoča večjo globino prodiranja, vendar hkrati zmanjša natančnost varjenja. Krajša pulzna dolžina omogoča natančnejše varjenje, vendar z manjšo globino prodiranja.

Frekvenca pulzov določa število pulzov na sekundo. Večja frekvenca omogoča hitrejša varjenja, vendar z manjšo energijo pulzov. Nižja frekvenca omogoča večjo energijo pulzov in globlje prodiranje, vendar s počasnejšim varjenjem.

Energija pulzov je količina energije, ki jo laser odda v enem pulzu. Večja energija pulzov omogoča večjo globino prodiranja, vendar z manjšo natančnostjo varjenja.

Manjša energija pulzov omogoča natančnejše varjenje, vendar z manjšo globino prodiranja.

Pri izbiri varilne moči impulzov je treba upoštevati zahtevano globino prodiranja, hitrost varjenja in natančnost varjenja ter izbrati najboljšo kombinacijo parametrov za želeni rezultat.

Pri laserskem varjenju je varilna moč impulzov zelo pomembna. Varilna moč vpliva na količino toplote, ki se sprosti med varjenjem, in s tem na globino in kakovost zvarov.

Pri laserskem varjenju se laser uporablja za taljenje in združevanje kovinskih delov. Laserski žarek se osredotoča na majhno območje in ustvarja zelo visoko koncentrirano toploto, kar omogoča hitro in natančno taljenje kovine.

Varilna moč impulzov laserskega žarka se meri v kilovatih (kW). Večja, kot je varilna moč, večja je količina toplote, ki se sprosti med varjenjem, ter s tem globina in kakovost zvarov. Vendar previsoka varilna moč lahko povzroči deformacije in druge težave pri varjenju.

Pravilna izbira varilne moči je odvisna od več dejavnikov, kot so debelina kovine, hitrost varjenja, vrsta kovine in želeni rezultat. Pri laserskem varjenju se pogosto uporablja impulzna varilna moč, ki omogoča natančno nadzorovanje toplote in zmanjšanje deformacij pri varjenju.

10 ZAKLJUČKI

V diplomskem delu smo predstavili področje optimizacije procesa varjenja statorskega paketa. Pri tem smo opisali tehnike laserskega varjenja, podrobneje smo opisali stroj ALFlak 200S, ki ga uporabljamo za varjenje statorskih paketov, nastavitve stroja in optimizacijo programa za varjenje teh izdelkov.

Z optimizacijo programskega paketa za varjenje statorskega paketa smo dosegli:

- skrajšanje praznih hodov,
- povečanje moči varilnega aparata,
- menjavo vhodnega materiala in menjavo dobavitelja materiala,
- zamenjavo nastavitvenih parametrov,
- kakovost zvarov,
- manj izmeta.

Skrajšanje praznih hodov lahko prispeva k izboljšanju produktivnosti in zmanjšanju časa varjenja. S pravilno optimizacijo programskega paketa za varjenje lahko

dosežemo krajši čas praznih hodov, kar lahko pripomore k izboljšanju izkoriščenosti varilnega stroja.

Povečanje moči varilnega aparata lahko prispeva k boljšim mehanskim lastnostim zvarov in povečanju produktivnosti. Večja moč varilnega aparata lahko omogoči hitrejšo in učinkovitejšo varjenje, kar lahko vodi do povečanja produktivnosti in kakovosti zvarov.

Menjava vhodnega materiala in dobavitelja materiala lahko privede do izboljšanja kakovosti izdelkov. Uporaba ustreznega materiala je ključnega pomena za doseganje optimalne kakovosti zvarov. Menjava dobavitelja materiala lahko privede tudi do zmanjšanja stroškov, če dobavitelj ponuja boljše cene ali kakovost materiala.

Zamenjava nastavitvenih parametrov lahko pripomore k izboljšanju kakovosti zvarov in zmanjšanju števila napak. Pravilno nastavljeni parametri lahko prispevajo k izboljšanju mehanskih lastnosti zvarov, kar lahko pripomore k zmanjšanju stroškov in izboljšanju kakovosti izdelkov.

Manj izmeta lahko pripomore k izboljšanju produktivnosti in zmanjšanju stroškov proizvodnje. Če je manj izmeta, se bo porabilo manj časa in materiala za popravila ali ponovno proizvodnjo, kar lahko prispeva k zmanjšanju stroškov in izboljšanju produktivnosti.

Kakovost zvarov statorskega paketa se lahko meri na več načinov, odvisno od določenih zahtev in standardov, ki jih je treba upoštevati. V nadaljevanju so podani nekateri načini merjenja kakovosti zvarov statorskega paketa:

Vizualni pregled: To je najpreprostejši način za oceno kakovosti zvarov. Vizualni pregled se izvaja s pomočjo lupe ali mikroskopa, ki omogoča oceno razpok, deformacij, nepravilnosti in drugih nepravilnosti, ki bi lahko vplivale na kakovost zvara.

Radiografski pregled: Ta metoda uporablja rentgenske ali gama žarke za oceno notranje strukture zvarov. Radiografski pregled se uporablja za odkrivanje morebitnih napak v notranjosti zvara, kot so poroznost, votline in neenakomerna penetracija.

Ultrazvočni pregled: Ta metoda uporablja ultrazvočne valove za oceno notranje strukture zvarov. Ultrazvočni pregled se uporablja za odkrivanje napak, kot so votline, nepravilnosti in neenakomerna penetracija.

Magnetni prahovni pregled: Ta metoda uporablja magnetno polje in magnetni prah za odkrivanje razpok in drugih napak v površini zvara. Magnetni prah se nanese na površino zvara in nato opazujemo, ali se pojavijo kakršne koli nepravilnosti.

Preizkus trdote: Preizkus trdote se uporablja za oceno trdote zvara. Trdoto lahko merimo s posebnim testerjem, ki pritisne na površino zvara in izmeri njeno trdoto.

Preskus upogiba: Ta metoda se uporablja za preizkus odpornosti zvara na upogib. Zvar se upogne na določenem mestu in nato preveri, ali se pojavi kakršna koli razpoka ali deformacija.

Obstaja več dejavnikov, ki lahko vplivajo na boljšo trdoto zvarov na statorskem paketu. V nadaljevanju so navedeni nekateri pomembni dejavniki:

Kakovost materiala: Za doseganje dobre trdote zvarov je ključnega pomena uporaba visokokakovostnega materiala, ki je primeren za varjenje. Material mora imeti ustrezne mehanske lastnosti, kot so trdota, žilavost in elastičnost, ter mora biti ustrezno obdelan in pripravljen pred varjenjem.

Postopek varjenja: Postopek varjenja mora biti pravilno izveden, da se dosežejo želeni mehanski parametri zvara, vključno s trdoto. Pomembno je upoštevati ustrezne parametre varjenja, kot so tok, napetost, hitrost in količina porabljenega materiala.

Priprava zvara: Pred varjenjem je pomembno ustrezno pripraviti površino zvarov na statorskem paketu. To vključuje odstranjevanje umazanije, maščob in drugih nečistoč ter ustrezno pripravo robov zvarov.

Predgretje in nadzorovano ohlajanje: V nekaterih primerih lahko predgretje in nadzorovano ohlajanje zvara vplivata na trdoto zvarov. Predgretje zmanjša notranje napetosti in poveča žilavost zvara, medtem ko nadzorovano ohlajanje lahko izboljša trdoto.

Kakovost zvarovne povezave: Kakovost zvarovne povezave, ki združuje dve ali več komponent statorskega paketa, lahko vpliva na trdoto zvarov. Če je zvarovna povezava nepravilno oblikovana ali nepravilno zvarjena, lahko to povzroči neenakomerno porazdelitev napetosti in s tem zmanjša trdoto zvara.

Poleg tega lahko vplivajo tudi drugi dejavniki, kot so temperatura okolice, kjer se uporablja statorski paket, in vibracije ter druge obremenitve, ki jih izpostavljamo zvarom. Za doseganje boljše trdote zvarov na statorskem paketu je pomembno upoštevati vse te dejavnike in izvesti ustrezne ukrepe za zagotovitev, da so zvari trdni in vzdržljivi ter ustrezajo zahtevam za uporabo.

11 LITERATURA IN VIRI

Alphalaser. (b. l.). *Alflak*. Pridobljeno 23. 3. 2023 z naslova <https://alphalaser.eu/lasersysteme/mobile-offene-systeme/alflak-alfalak-faser.html>.

Domel. (b. l.). *Naša zgodba*. Pridobljeno 23. 3. 2023 z naslova <https://www.domel.com/sl/o-nas/nasa-zgodba>.

Mrljak, L. (2015). *Tehnologija malih električnih strojev*. Pridobljeno 23. 3. 2023 z naslova <https://docs.google.com/document/d/1PnNlsNJb6ygcv2z1hX-EYcVlxq9LvZDw3up7s8CPenU/edit?usp=sharing>.

Šubic, M. (2022). *Zasnova in stroškovna primerjava dveh tehnologij izdelave izoliranega statorskega paketa*. Magistrsko delo, Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo.

Wikipedija. (b. l.). *Lasersko varjenje*. Pridobljeno 23. 3. 2023 z naslova https://sl.wikipedia.org/wiki/Lasersko_varjenje.