

VIŠJA STROKOVNA ŠOLA ACADEMIA

MARIBOR

IZDELAVA TOPLOTNEGA IZMENJEVALCA

Kandidat: Alen Čič

Vrsta študija: študent izrednega študija

Študijski program: Strojništvo

Mentor – predavatelj: Dragan Gogić, mag. inž. metal. in mater.

Mentor v podjetju: Jernej Petovar, univ. dipl. inž. str.

Lektorica: Jasmina Vajda Vrhunec, prof. slov.

Maribor, 2023

IZJAVA O AVTORSTVU DIPLOMSKEGA DELA

Podpisani Alen Čić sem avtor diplomskega dela z naslovom **IZDELAVA TOPLOTNEGA IZMENJEVALCA**, ki sem ga napisal pod mentorstvom Dragan Gogić, mag. inž. metal. in mater.

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- je predloženo delo izključno rezultat mojega dela,
- sem poskrbel, da so dela in mnenja drugih avtorjev, ki jih uporabljam v predloženi nalogi, navedena oz. citirana skladno s pravili Višje strokovne šole Academia Maribor,
- se zavedam, da je plagiatorstvo – predstavljanje tujih del oz. misli kot moje lastne – kaznivo po Zakonu o avtorski in sorodnih pravicah (Uradni list RS, št. 16/07 – uradno prečiščeno besedilo, 68/08, 110/13, 56/15 in 63/16 – ZKUASP); prekršek pa podleže tudi ukrepom Višje strokovne šole Academia Maribor skladno z njenimi pravili,
- skladno z 32.a členom ZASP dovoljujem Višji strokovni šoli Academia Maribor objavo diplomskega dela na spletnem portalu šole.

Maribor, november 2023

Podpis študenta:

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju Draganu Gogiću, mag. inž. metal. in mater., za vso strokovno pomoč in napotke skozi celotno pisanje diplomskega dela.

Zahvaljujem se tudi mentorju v podjetju Ecom Ruše, d. o. o., Jerneju Petovarju, univ. dipl. inž. str., za vso pomoč pri pisanju diplomskega dela.

Zahvala prav tako velja podjetju Ecom Ruše, d. o. o., za vso podporo in dovoljenje za uporabo internega gradiva skozi celoten proces izdelave diplomskega dela.

POVZETEK

V podjetju, v katerem sem zaposlen, izdelujemo različne tlačne posode in rezervoarje iz nerjavečega jekla in specialnih materialov. Podjetje je v večji meri samozadostno, kar pomeni, da izdelamo celotni izdelek v lastnem obratu od konstrukcije, razreza, varjenja do mehanske obdelave in raznih obdelav površine (luženje, pasiviranje, peskanje, lakiranje). Zavedamo se, da s pravilnim pristopom in kakovostjo ter celovito rešitvijo lahko ostanemo konkurenčni na današnjem trgu.

Poleg veliko različnih izdelkov se podjetje ukvarja tudi z izdelavo toplotnih izmenjevalcev za kemično, farmacevtsko ali prehransko industrijo. Večinoma izdelujemo izmenjevalce iz nerjavečega jekla, različnih velikosti in volumna ter z različnim številom cevi. Ponujamo celovito rešitev v proizvodnji, od trdnostnih preračunov in konstruiranja do končne mehanske obdelave in tlačnih preizkusov.

Skozi čas se je izdelava toplotnih izmenjevalcev v našem podjetju razvila, uporabljamo novejšo tehnologije izdelave pri varjenju in mehanski obdelavi. Z njihovo uporabo smo uspeli izdelavo pripeljati na novo raven in celotni postopek izdelave narediti v krajšem času in z manj napakami pri zvarnih spojih.

V diplomskem delu bom predstavil kompletno izdelavo enega para toplotnih izmenjevalcev, ki se uporabljajo v farmacevtski industriji. Opisal bom, kako potekajo specifikacija materiala, naročilo materiala in konstruiranje izmenjevalca, razrez materiala in upogib ter sestava in varjenje, pri čemer se bom posebej dotaknil orbitalnega varjenja cevi v cevne plošče. Predstavil bom tudi mehansko obdelavo posameznih pozicij in končnega izdelka ter tlačni preizkus.

Raziskal bom nove tehnološke rešitve za morebitno hitrejšo izdelavo posameznih sklopov pri mehanski obdelavi in ključavničarskem delu. Poskušal bom skrajšati čas celotne izdelave izmenjevalca, da med tem ne izgubimo kakovosti, ampak jo celo poskušamo dvigniti na višjo raven in da na ta način poskušamo dvigniti učinkovitost proizvodnje. Podrobneje bom prikazal mehansko obdelavo struženja in rezkanja ter vrtanja cevni plošč izmenjevalca in tlačni preizkus po končani izdelavi izmenjevalca.

Ključne besede: mehanska obdelava, varjenje, konstruiranje, učinkovitost, ekonomičnost.

ABSTRACT

»Production of heat exchanger«

In the company where I work, we manufacture various pressure vessels and tanks made of stainless steel and special materials. The company is largely self-sufficient, which means that we manufacture the entire product in our own facility, from construction, cutting, welding to mechanical processing and various surface treatments (pickling, passivation, sandblasting, varnishing). We are aware that with the right approach and quality, as well as a comprehensive solution, we can remain competitive in today's market.

Among many different products, the company is also involved in the production of heat exchangers for the chemical, pharmaceutical or food industry. We mostly manufacture heat exchangers made of stainless steel, of different sizes and volumes and with different numbers of tubes. We offer a comprehensive solution in production, from strength calculations and construction to final mechanical processing and pressure tests.

Over time, the production of heat exchangers in our company has developed, we use newer production technologies in welding and mechanical processing. By using only these, we managed to bring production to a new level and complete the entire production process in less time and with fewer errors in welding joints.

In the assignment, I will present the complete production of one pair of heat exchangers which are used in the pharmaceutical industry. I will present the process of material specification, material ordering and exchanger construction, material cutting and bending, assembly and welding, where I will specifically touch on the orbital welding of pipes into pipe plates. I will also present the mechanical processing of individual positions and the final product, as well as the pressure test.

I will research new technological solutions for possible faster production of individual assemblies during mechanical processing and locksmith work. I will try to shorten the entire production time of the exchanger so that in the meantime we do not lose quality, but even try to raise it to a higher level and in this way increase the efficiency of production. I will show in more detail mechanical processing of turning and milling, as well as the drilling of the tube plates of the exchanger, and the pressure test after the end of the heat exchanger production

Key words: mechanical processing, welding, construction, efficiency, economy

Vsebina

UVOD	10
1.1 OPIS PODROČJA IN OPREDELITEV PROBLEMA	10
1.2 NAMEN, CILJI IN OSNOVNE TRDITVE	10
1.3 PREDPOSTAVKE IN OMEJITVE	11
1.4 UPORABLJENE RAZISKOVALNE METODE	11
2 PREDSTAVITEV PODJETJA ECOM RUŠE, D. O. O.....	12
2.1 O PODJETJU	12
2.2 ORGANIZACIJA PODJETJA	13
2.3 PROIZVODNI PROGRAM IN OPREMA.....	14
3 OPIS NAČRTOVANJA IN KONSTRUIRANJA TOPLOTNEGA IZMENJEVALCA.....	18
3.1 TOPLOTNI IZMENJEVALEC	18
3.2 NAČRTOVANJE IN KONSTRUIRANJE.....	19
3.3 SPECIFIKACIJA MATERIALA	23
3.4 IZDELAVA TEHNIČNE DOKUMENTACIJE.....	26
4 OPIS IZDELAVE TOPLOTNEGA IZMENJEVALCA	30
4.1 PRIPRAVA IN SESTAVA PODSKLOPOV	30
4.2 VARJENJE PODSKLOPOV	33
4.2.1 Definicija in vrste varjenja	33
4.2.2 Uporabljene metode varjenja pri izdelavi toplotnega izmenjevalca.....	37
4.3 CNC MEHANSKA OBDELAVA.....	40
4.3.1 Struženje	40
4.3.2 Rezkanje/vrtanje	43
4.4 UVALJANJE CEVI V CEVNE PLOŠČE	51
4.5 ORBITALNO VARJENJE	53
4.6 OBDELAVA POVRŠIN	55
5 KONTROLA KAKOVOSTI	57
5.1 KONTROLA ZVARNIH SPOJEV.....	58
5.1.1 Vizualne preiskave zvarov (VT).....	58
5.1.2 Kontrola s tekočimi penetranti (PT).....	59
5.1.3 Radiografska kontrola (RT).....	60
5.1.4 Ultrazvočna kontrola (UT)	61
5.2 DIMENZIJSKA KONTROLA	62

5.3	TLAČNI PREIZKUS	66
6	DIGITALIZACIJA V PROIZVODNJI	68
6.1	ČRTNA KODA.....	68
6.2	VPELJAVA ČRTNE KODE V PODJETJE	69
6.3	SPREMLJANJE PROIZVODNJE S POMOČJO ČRTNE KODE	70
7	SKLEP	71
8	VIRI IN LITERATURA	73

KAZALO SLIK

SLIKA 1:	LOGO PODJETJA ECOM, D. O. O.....	12
SLIKA 2:	ORGANIZACIJSKA SHEMA PODJETJA.....	13
SLIKA 3:	IZDELEK IZ PROIZVODNEGA PROGRAMA	14
SLIKA 4:	AUTOCAD MECHANICAL.....	16
SLIKA 5:	PROGRAMIRANJE MASTERCAM.....	17
SLIKA 6:	CEVNI TOPLOTNI IZMENJEVALEC	18
SLIKA 7:	PRIMER CEVNIH PLOŠČ Z RAZLIČNIM ŠTEVILOM CEVI	20
SLIKA 8:	MODELIRANJE V AUTODESK INVENTORJU	21
SLIKA 9:	SILE V PODPORAH	21
SLIKA 10:	DELAVNIŠKA RISBA PLAŠČE IZMENJEVALCA.....	27
SLIKA 11:	PRIMER DELOVNEGA NAČRTA.....	28
SLIKA 12:	PRIPRAVA POZICIJ ZA RAZREZ.....	29
SLIKA 13:	SKICE ZA MEHANSKO OBDELAVO.....	29
SLIKA 14:	PRIMER TEHNOLOŠKEGA LISTA.....	30
SLIKA 15:	PRIPRAVA MATERIALA.....	31
SLIKA 16:	SESTAVA ENEGA TIPA IZMENJEVALCA	31
SLIKA 17:	POSTOPEK VARJENJA TIG.....	34
SLIKA 18:	POSTOPEK VARJENJA MAG	35
SLIKA 19:	PRIMER ROČNO-OBLOČNEGA VARILNEGA APARATA S KOMPONENTAMI.....	36
SLIKA 20:	PRIKAZ VARJENJA S POLNJENO ELEKTRODO.....	36
SLIKA 21:	PRIMER SPECIFIKACIJE VARILNEGA POSTOPKA	38
SLIKA 22:	PRIKAZ OSNOVNIH DELOV VARA.....	39
SLIKA 23:	PRIKAZ KORENA ZVARA.....	39
SLIKA 24:	STRUŽNICA CNC	41
SLIKA 25:	STRUŽNA DRŽALA.....	42

SLIKA 26: NAČRT PRIROBNICE TI.....	42
SLIKA 27: OBODNO IN ČELNO REZKANJE	44
SLIKA 28: OSNOVNI PRIKAZ VRTANJA	44
SLIKA 29: SVEDER NA IZMENLJIVE PLOŠČICE	45
SLIKA 30: DETAJL IZ NAČRTA CEVNE PLOŠČE	46
SLIKA 31: SVEDER NA IZMENLJIVE KONICE	46
SLIKA 32: POVRTAVANJE CEVNIH PLOŠČ	48
SLIKA 33: DRŽALO IN IZMENLJIVO HITROREZNO POVRTALO	49
SLIKA 34: NASTAVEK ZA UVALJANJE CEVI.....	51
SLIKA 35: PRIKAZ CEVI PRED I PO EKSPANDIRANJU	52
SLIKA 36: KONTROLA KAKOVOSTI V PODJETJU ECOM RUŠE	57
SLIKA 37: VIZUALNA KONTROLA ZVAROV	58
SLIKA 38: PRIKAZ METODE PENETRIRANJA	59
SLIKA 39: PT-KONTROLA CEVNE PLOŠČE	59
SLIKA 40: PRIKAZ OBMOČJA RT-KONTROLE	60
SLIKA 41: UT-PREISKAVA.....	61
SLIKA 42: MERILNO ORODJE	63
SLIKA 43: IZVRTINE NA CEVNI PLOŠČI.....	63
SLIKA 44: DIMENZIJSKA KONTROLA S TRAČNIM METROM.....	64
SLIKA 45: TRAČNI METER	64
SLIKA 46: KONTROLA S KOTNIKOM.....	65
SLIKA 47: TLAČNI PREIZKUS	67
SLIKA 48: TABLICA Z OZNAKO CE	67
SLIKA 49: PRIMER ČRTNE KODE	68
SLIKA 50: PRIMER OPREME ZA ODČITAVANJE IN TISK ČRTNE KODE.....	69

KAZALO TABEL

TABELA 1: PROJEKTNİ PODATKI TOPLOTNEGA IZMENJEVALCA	22
TABELA 2: İME İN OZNAKE MATERIALA.....	23
TABELA 3: KEMIČNE LASTNOSTI MATERIALA (%).....	24
TABELA 4: MEHANSKE LASTNOSTI MATERIALA (20°)	24
TABELA 5: FİZİKALNE LASTNOSTI MATERIALA.....	24
TABELA 6: SPECİFİKACİJA MATERIALA	25
TABELA 7: OSNOVNI PODATKI İN PARAMETRI ZA STRUŽENJE	43
TABELA 8: PARAMETRI İN OSNOVNI PODATKI	47
TABELA 9: PARAMETRI ZA POVRTAVANJE.....	48

TABELA 10: PARAMETRI ZA POVRTAVANJE S HITROREZNIM POVRTALOM	50
TABELA 11: STROŠEK POVRTAVANJA.....	50
TABELA 12: ČAS ROČNEGA VARJENJATIG	54
TABELA 13: ORBITALNO VARJENJE CEVI.....	54
TABELA 14: SPLOŠNI IZDELOVALNI PODATKI	62
TABELA 15: PODATKI TLAČNE POSODE	66

OKRAJŠAVE IN KRATICE

CNC – Computer Numerical Control (računalniško numerično krmiljenje)

NC – Numerical Control (numerično krmiljenje)

TIG – Tungsten Inert Gas

MAG – Metal Active Gas

MIG – Metal Inert Gas

CAD – Computer – Aided Design

CAM – Computer – Aided Manufacturing

mm – milimetri

HSS – High Speed Steel (Hitrorežno jeklo)

PT – kontrola s tekočimi penetranti

VT – vizualna kontrola

RT – radiografska kontrola

UT – ultrazvočna kontrola

UVOD

1.1 Opis področja in opredelitev problema

Trenutno stanje na trgu zahteva nenehno izboljševanje in vlaganje v proizvodnjo katerih koli izdelkov, še posebej, če ne gre za serijsko proizvodnjo, ampak za proizvodnjo posameznih izdelkov ali manjših serij do 10 kosov. Tako je tudi pri proizvodnji toplotnih izmenjevalcev, kjer obstajajo različni tipi, izdelani po različnih standardih in zahtevah, ter je za konkurenčnost na trgu treba vložiti ogromno sredstev in znanja, da proizvodnja teče gladko, hitro ter da je izdelek kakovosten in primeren za uporabo.

Skozi leta smo v podjetju vlagali v nove tehnologije izdelave, tako pri mehanski obdelavi kot pri ključavničarstvu in varjenju. Optimalni proces proizvodnje pripelje do zelenega cilja, kar prinese maksimalno produktivnost in izkoristek v proizvodnji.

V diplomskem delu bom predstavil kompletno proizvodnjo in izdelavo toplotnega izmenjevalca, konstruiranje, specifikacijo in naročilo materiala, ključavničarska dela ter mehansko obdelavo. Predstavil bom tudi optimizacijo na področju varjenja in vrtanja cevnih plošč, kjer smo z novimi tehnologijami hitreje in kakovostnejše prišli do zelenega cilja.

1.2 Namen, cilji in osnovne trditve

Namen diplomskega dela je prikazati proces izdelave toplotnega izmenjevalca ter dvigovanje produktivnosti z novimi tehnološkimi pristopi in optimizacijo posameznih postopkov izdelave.

V diplomskem delu bi rad dosegel naslednje cilje:

- popolna optimizacija v fazi proizvodnje;
- raziskovanje novih tehnologij izdelave;
- pravilna izbira orodij za mehansko obdelavo;
- zmanjšanje napak v proizvodnji;
- dvig kakovosti končnega izdelka.

Osnovne trditve diplomskega dela so:

- H1: Orbitalno varjenje cevnih plošč je hitrejše in zanesljivejše od klasičnega varjenja.
- H2: Z optimizacijo CNC obdelave višamo izkoristek in učinkovitost.
- H3: Velikost cevnega snopa in število cevi vplivata na hitrost ohlajanja ali segrevanja medija.
- H4: Digitalizacija v proizvodnji omogoča lažje spremljanje izdelave in zalog posameznih pozicij.

1.3 Predpostavke in omejitve

Ker so nekateri podatki zaupne narave, bom v diplomskem delu prikazal zgolj približke in brez navajanja ključnih podatkov, imen ali nazivov nekaterih strank in zaposlenih ter zaupnih podatkov o projektih.

1.4 Uporabljene raziskovalne metode

V diplomskem delu bom uporabil naslednje raziskovalne metode:

- metodo deskripcije: opisovanje določenih pojmov, dejstev in pojavov;
- metodo kompilacije: uporaba izpiskov, citatov, navedb drugih avtorjev;
- primerjalno metodo: primerjava enakih ali podobnih dejstev, ugotavljanje podobnosti in razlike med njimi;
- metodo dedukcije: logično sklepanje na temelju splošnih zaznav.

2 PREDSTAVITEV PODJETJA ECOM RUŠE, D. O. O.

2.1 O podjetju

Podjetje ECOM Ruše, d. o. o., katerega logotip prikazuje slika 1, je proizvodno podjetje v zasebni lasti, ki se ukvarja z izdelavo opreme iz nerjavnih jekel in specialnih materialov. Z letno zmogljivostjo več kot 150.000 ur izdeluje opremo, ki se uporablja v papirni, farmacevtski, kemični in prehrabni industriji.

Podjetje je specializirano za izdelavo toplotnih izmenjevalcev, raznih rezervoarjev, filtrirnih in tlačnih posod ter izdelkov po posebnih zahtevah in željah naročnika.

Leta 1991 je podjetje ustanovil lastnik in direktor Darko Krčar kot manjše družinsko podjetje za izdelavo jeklenih konstrukcij in opreme. Danes, 30 let pozneje, deluje kot srednje veliko podjetje z okoli 100 zaposlenimi ter zavzema pomembno mesto na trgu in je dobavitelj priznanih naročnikov na področju izdelave procesne opreme. (Ecom.si, 2023)



Slika 1: Logo podjetja ECOM, d. o. o.

Vir: www.ecom.si/

Eni izmed največjih naročnikov so Andritz Group, Engie, MAG, Sulzer, Syntegon in Voith. Kar 90 % naročil in proizvodov je namenjenih izvozu v tujino in na ta način si s kakovostjo poskušamo ohraniti sloves zanesljivega dobavitelja na svetovnem trgu.

Podjetje je razdeljeno na štiri glavne oddelke, ki medsebojno sodelujejo pri posameznih projektih v proizvodnji.

Oddelki:

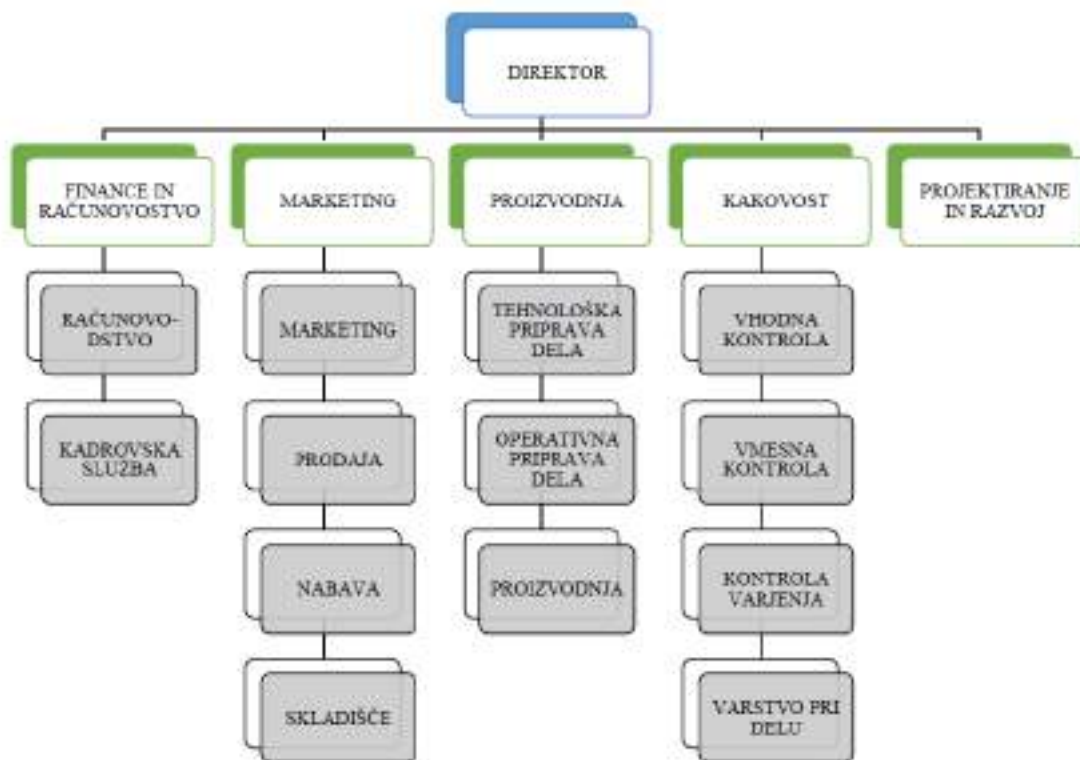
1. Tehnologija/konstrukcija
2. Razrez materiala
3. Ključavničarstvo in varjenje
4. Mehanska obdelava

Pri tako specifični proizvodnji je treba upoštevati tudi razne standarde in navodila. Tako je naše podjetje certificirano z naslednjimi standardi:

- EN ISO 9001:2015;
- AD-HP 0 in PED;
- ASME;
- DIN EN ISO 3834 Part 2:2021;
- ISO 14001:2015;
- CHINA NATIONAL STANDARDS.

2.2 Organizacija podjetja

Podjetje ECOM Ruše, d. o. o., je zasebno podjetje z večinskim lastnikom in direktorjem na čelu ter je razdeljeno na različne oddelke, ki medsebojno sodelujejo za doseganje istih ciljev. Organizacijsko shemo podjetja lahko vidimo na sliki 2.



Slika 2: Organizacijska shema podjetja

Vir: (Ecom.si, 2023)

2.3 Proizvodni program in oprema

Ena izmed glavnih dejavnosti podjetja je izdelava raznih rezervoarjev, tlačnih posod in toplotnih izmenjevalcev, večinoma iz nerjavečega jekla. Del proizvodnega programa prikazuje slika 3. Ko omenim tlačne posode, je poudarek predvsem na filtrirnih, mešalnih ali sterilizacijskih rezervoarjih za predelavo raznih medijev v papirni, farmacevtski ali kemični industriji, ki obratujejo pod visokimi temperaturami in tlaki v posodi ali rezervoarju. Načrtovanje izdelkov in sama izdelava zahtevata znanje, izkušnje ter sodobno opremo za nemoteno in kakovostno opravljeno delo.

V proizvodnih halah velikosti 6500 m² je podjetje opremljeno z raznimi stroji za razrez in upogib materiala, stroji za mehansko obdelavo, varilnimi aparati ter oddelki za obdelavo površin (peskanje, lakiranje, kemična obdelava itd.). Največji del zavzema ključavničarski oddelek, ki je razdeljen na »inox« halo, kjer se izdelujejo samo izdelki iz nerjavečega jekla in posebnih materialov, posebej sta oddelek za izdelke iz konstrukcijskega jekla in oddelek za mešane materiale oziroma izdelke s kombinacijo nerjavečega in konstrukcijskega jekla.



Slika 3: Izdelek iz proizvodnega programa

Vir: (Lastni, 2023)

V podjetju je ključnega pomena tudi strojni park, kajti brez sodobnih strojev bi bila proizvodnja nekonkurenčna, počasnejša in neučinkovita. Največji del strojnega parka zavzemajo stroji za obdelavo kovine ter stroji za razrez in krivljenje materiala.

Strojni park in oprema:

- CNC Laser;
- CNC Plasma;
- WaterJet;
- upogibni stroji do 6 m širine;
- klasične stružnice do 4 m dolžine;
- stružnica CNC – 3 m;
- stružnica CNC – 11 m;
- horizontalne stružnice CNC (karusel) do 4 m premera;
- CNC-obdelovalni center Pinnacle;
- CNC-obdelovalni center Kiheung;
- CNC bohrwerk TOS;
- CNC bohrwerk Mecof;
- CNC bohrwerk Soraluca;
- žična erozija Knuth;
- aparat za orbitalno varjenje;
- varilni robot;
- koordinatni merilni stroj Wenzel;
- 3D-merilna roka Hexagon Metrology;
- varilni aparati TIG, MAG, MIG.

Strojni park in opremo poskušamo nadgrajevati z novimi stroji in rednim vzdrževanjem obstoječih ter glede na potrebe proizvodnje ostati konkurenčni in samozadostni. Zavedamo se, da s sodobno opremo in usposobljenimi delavci lahko dosegamo zastavljene cilje in da lahko podjetje ohranimo na visokem in prepoznavnem nivoju ter zadržimo stalne in pridobimo nove stranke na področju izdelave tlačnih posod, rezervoarjev ipd. iz nerjavečih jekel in specialnih materialov po različnih standardih, primernih za uporabo po celotnem svetu.

Tako ima za potrebe proizvodnje podjetje v lasti različne stroje za obdelavo kovine. S struženjem imamo možnosti obdelovati kose do 4 000 mm premera na horizontalnih stružnicah ter 1500 mm premera in 11 000 mm dolžine na vertikalnih stružnicah. Rezkalni gabariti na CNC-obdelovalnih centrih pa segajo do 16 000 mm dolžine, 3 200 mm višine in 1 500 mm širine.

Poleg strojnega parka in razne opreme v proizvodnji je podjetje opremljeno tudi s sodobno programsko in računalniško opremo za kakovostno in učinkovito opravljanje dela konstrukcije, tehnologije in ostalih oddelkov, ki so vključeni v proizvodne procese.

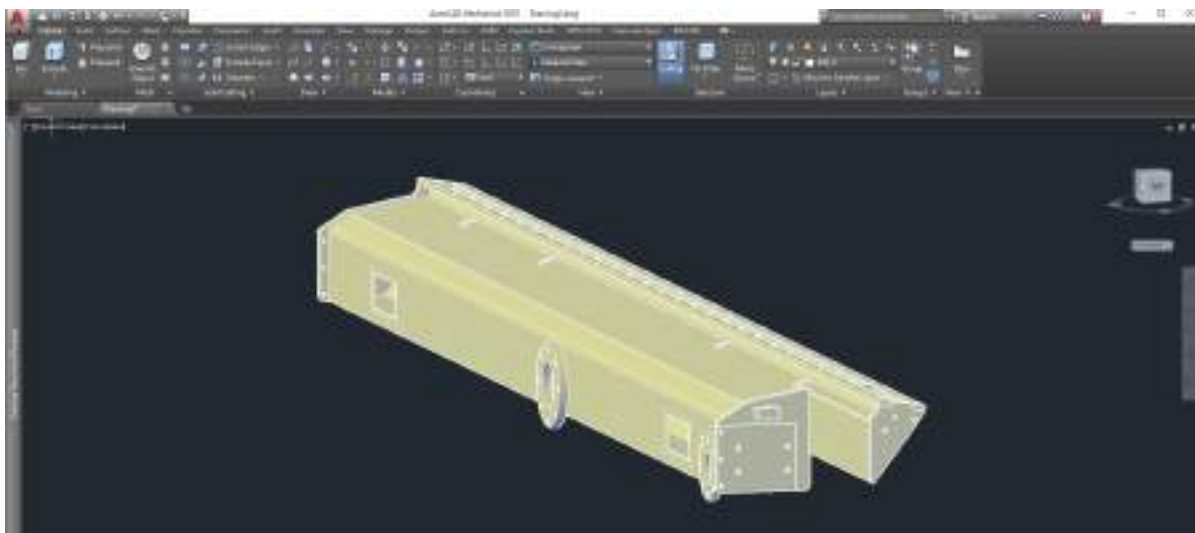
Tako za risanje in modeliranje uporabljamo naslednjo programsko opremo:

- AutoCAD Mechanical;
- Autodesk Inventor;
- SolidWorks.

AutoCAD Mechanical kot računalniško orodje za modeliranje in risanje (slika 4) je najbolj razširjen program v podjetju, ki se uporablja za risanje delavniških risb in načrtov v 2D in 3D. Uporablja se tudi za skice in pripravo pozicij za razrez materiala ter je osnova za izdelavo programov za razrez materiala na laserju, plazmi ali vodnem curku.

Pri konstruiranju in načrtovanju izdelkov se uporablja Autodesk Inventor, ki je predvsem predviden za 3D-modeliranje, konstruiranje in razne simulacije v fazi konstruiranja posameznih izdelkov. S simulacijo lahko analiziramo in pridobimo rezultate ter ugotovimo morebitne pomanjkljivosti izdelka že pred izdelavo. Na ta način lahko ukrepamo in odpravimo pomanjkljivosti ter se izognemo dodatnim stroškom v fazi proizvodnje.

Solidworks pa uporabljamo za modeliranje in risanje izdelkov, ampak brez možnosti izvedbe vseh simulacij zaradi osnovne različice licence programa.

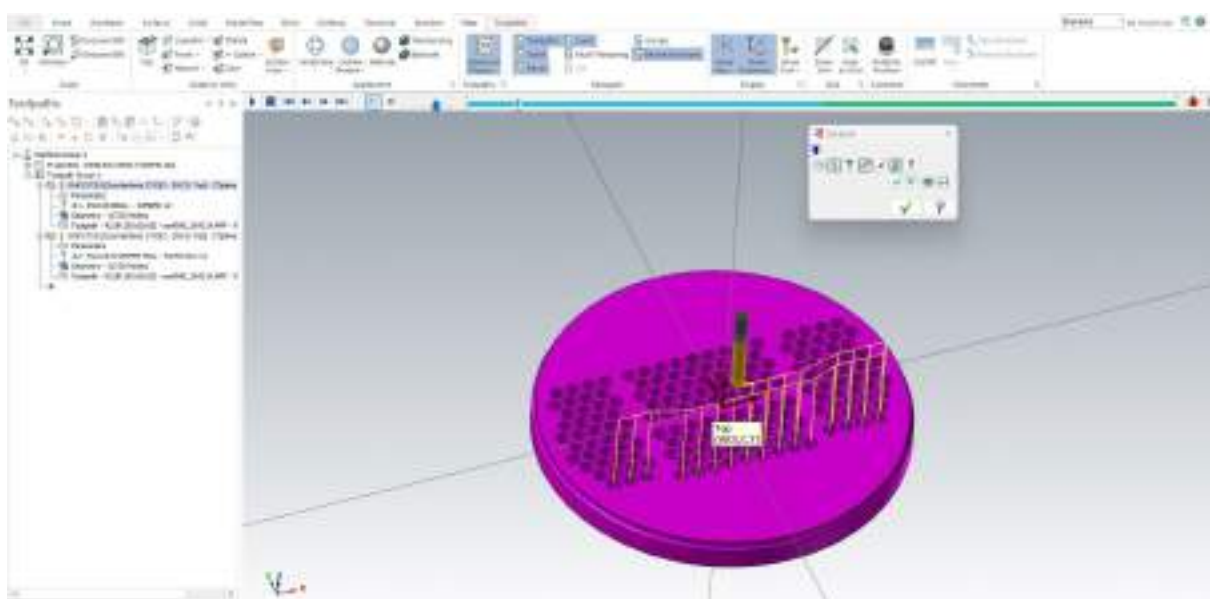


Slika 4: AutoCAD Mechanical

Vir: (ECOM Ruše, d. o. o., 2023)

Za izdelavo NC-programov za CNC stroje podjetje uporablja programsko opremo MasterCAM. MasterCAM je trenutno ena izmed najbolj svetovno razširjenih programskih oprem, ki nudi module za od 2- do 5-osno rezkanje, struženje, žično erozijo in število drugih možnosti na področju CNC-programiranja. (Camnicam, 2022)

Z MasterCAM programiramo in izdelujemo programe za vse CNC rezkalne stroje in stružnice. V program lahko vnesemo že obstoječi 3D-model, kot prikazuje slika 5, ali pa 2D-risbo v dwg., dxf ali podobnem formatu. Lahko pa se konture ali skice in načrti rišejo tudi neposredno v programu.



Slika 5: Programiranje MasterCAM

Vir: (Ecom, d. o. o., 2022)

Podjetje še uporablja računalniške programe, kot so Logitrace, za razvijanje raznih oblik pločevin, iScala za spremljanje in knjiženje materiala ter za razne kadrovske zadeve, in Microsoft Office za vse ostale dokumente, kot so pisni dokumenti kot priloga tehnični dokumentaciji, prezentacije, tabele in grafikonu itd.

Sodobna in napredna tehnološka in računalniška oprema v veliki meri poenostavi celotni proizvodni proces ter nam pomaga pri hitrejšem in zanesljivejšem doseganju ciljev podjetja.

3 OPIS NAČRTOVANJA IN KONSTRUIRANJA TOPLOTNEGA IZMENJEVALCA

3.1 Toplotni izmenjevalec

Toplotni izmenjevalec, ki ga vidimo na sliki 6, je naprava, ki se uporablja za prenos toplote med dvema ali več tekočinami ali plini, brez mešanja med njimi. Namen toplotnega izmenjevalca je učinkovit prenos toplote, bodisi za ogrevanje ali hlajenje tekočin ali zraka.

Toplotni izmenjevalci delujejo na osnovi načela, da toplota prehaja z območja z višjo temperaturo v območje z nižjo temperaturo. Obstaja več vrst toplotnih izmenjevalcev, odvisno od njihove zasnove in uporabe. (lahde, 2023)

Najpogostejša vrsta toplotnega izmenjevalca je cevni toplotni izmenjevalec. Sestavljen je iz sistema cevi, skozi katere tečeta hladilna in ogrevalna tekočina. Toplota se prenaša skozi stene cevi, kar omogoča prenos toplote iz ene tekočine v drugo.

Druga pogosta vrsta je ploščni toplotni izmenjevalec. Sestavljen je iz plošč, med katerimi tečejo tekočine. Plošče so oblikovane tako, da ustvarjajo turbulentni pretok tekočin, kar maksimira prenos toplote med njimi. (lahde, 2023)



Slika 6: Cevni toplotni izmenjevalec

Vir: (Ecom.si, 2023)

Toplotni izmenjevalci se uporabljajo v različnih industrijskih procesih, kot so ogrevanje in hlajenje v industriji hrane in pijače, ogrevanje v stanovanjskih in komercialnih stavbah ter v elektrarnah za prenos toplote v parne turbine. Njihova uporaba omogoča energetsko učinkovitejše procese, saj zmanjšujejo porabo energije za ogrevanje ali hlajenje tekočin in plinov. (lahde, 2023)

3.2 Načrtovanje in konstruiranje

Načrtovanje nekega izdelka lahko opišemo kot proces, pri katerem na podlagi zahtev naročnika izberemo primerno tehnologijo izdelave izdelka, upoštevajoč vse standarde in zakonodaje.

Pri načrtovanju izdelka je pomembno upoštevati več dejavnikov. Ena ključnih nalog je ugotoviti, kaj stranka resnično potrebuje in kakšne težave želi rešiti.

Konstruiranje pa je proces, pri katerem ustvarjamo ali oblikujemo fizično strukturo ali komponente nekega izdelka. Med konstruiranjem se uporabljajo različna orodja in metode, kot so risanje in modeliranje v CAD (računalniško podprto načrtovanje), izdelava prototipov, analiza trdnosti, simulacije in preizkusi.

Pri konstruiranju upoštevamo različne dejavnike, kot so varnost, ergonomija, funkcionalnost, izvedljivost in stroški proizvodnje. Glavni cilj konstruiranja je razviti izdelek, ki bo izpolnjeval zahteve in specifikacije, ob upoštevanju tehničnih omejitev in zahtev trga.

Konstruiranje je ključna faza v procesu razvoja izdelka, ki sledi načrtovanju. Medtem ko se načrtovanje osredotoča na oblikovanje in določanje funkcionalnosti izdelka, se konstruiranje osredotoča na tehnično izvedbo in detajle, ki omogočajo dejansko izdelavo in delovanje izdelka.

Tako pri izdelavi toplotnega izmenjevalca oddelek konstrukcije in načrtovanja na podlagi zahtev naročnika izdelava trdnostne preračune, izbere primerni material, določi tehnologijo obdelave in konstruira izdelek, primeren za uporabo.

Posebej je treba proučiti in izračunati potrebno količino cevi v toplotnem izmenjevalcu za doseganje idealnega razmerja ohlajanja ali segrevanja medija.

Število cevi ima vpliv na učinkovitost segrevanja ali ohlajanja medija v toplotnem izmenjevalcu. Večje število cevi običajno povečuje površino izmenjave toplote in s tem omogoča boljše odvajanje toplote ali prenos toplote iz enega medija na drugega.

Z večjim številom cevi se poveča tudi skupna površina, ki je v stiku s hladilnim ali ogrevalnim medijem. To omogoča hitrejši prenos toplote in posledično hitrejše ohlajanje ali segrevanje medija.

Tako lahko na sliki 7 vidimo različno število izvrtin za cevi v cevni plošči in lahko sklepamo, da izmenjevalca ne ohlajata ali segrevata medija z isto hitrostjo.



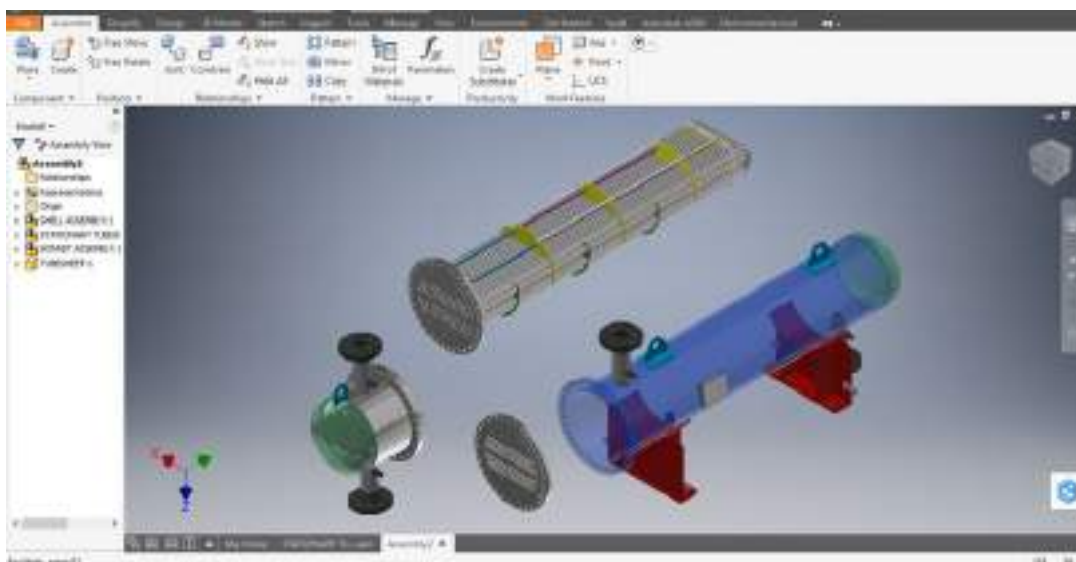
Slika 7: Primer cevnih plošč z različnim številom cevi

Vir: (Ecom d.o.o., 2022)

Pri načrtovanju toplotnega izmenjevalca je treba upoštevati različne dejavnike, da se doseže optimalno ravnotežje med zmogljivostjo prenosa toplote, hidravličnim uporom in stroški izdelave.

Konstrukcija za konstruiranje in modeliranje uporablja računalniški program Autodesk Inventor (slika 8), s katerim razen modeliranja in risanja 3D-modelov izdelka lahko tudi izdela simulacije, ki prikažejo situacije iz resničnega sveta. Program na primer lahko simulira notranje ali zunanje vplive in napetosti v toplotnem izmenjevalcu ali pa obremenitve pri obratovanju.

Na ta način lahko ukrepamo pred samim začetkom izdelave ter prihranimo veliko časa in denarja. Pomanjkljivosti odpravimo ter znova izvedemo simulacijo in analiziramo rezultate.

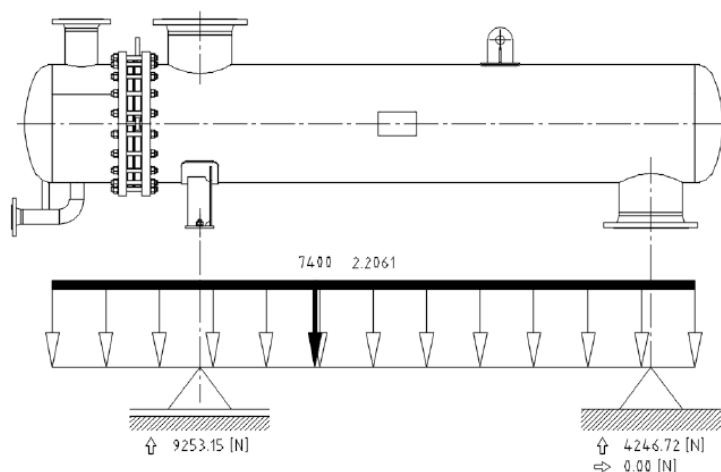


Slika 8: Modeliranje v Autodesk Inventorju

Vir: (Ecom d.o.o., 2022)

Konstrukcija na podlagi zahtev naročnika izvede tudi trdnostne in tlačne preračune za cevni snop in posodo posebej. Preračunavajo se potrebna debelina stene plašča, debelina prirobnic in cevni plošč, minimalna velikost vijakov in matic. Konstrukcija preračuna in določi minimalno velikost zvarov.

Z izračuni še dobimo sile in momente v podporah, ki delujejo na toplotni izmenjevalec pri delovanju, prikažemo pa jih v obliki nosilca, kot je prikazano na sliki 9.



Slika 9: Sile v podporah

Vir: (Ecom d.o.o., 2022)

Po končanem konstruiranju in projektiranju izmenjevalca se vsi osnovni podatki vpišejo v tabelo (tabela 1), ki je del glavnega sestavnega načrta toplotnega izmenjevalca.

Kot je razvidno, tabela vsebuje vse osnovne podatke in preračunske vrednosti za plašč ali posodo izmenjevalca (Shell side) ter tudi za cevni snop izmenjevalca (Tube side). Razvidni so podatki o maksimalnem tlaku znotraj in zunaj izmenjevalca, temperaturi, volumnu, preizkusnem tlaku in drugimi.

Tabela 1: Projektni podatki toplotnega izmenjevalca

PROJEKTNI PODATKI / Design data			
PROJEKTNI KOD / Design code	AD 2000		POTRDITEV/ Confirm.
SKLADNO Z / Comply with			
	Shell side	Tube side	
PRERAČUNSKI TLAK Design pressure	-1/5 bar	-1/10 bar	
PRERAČUNSKA TEMPERATURA Design temperature	0/150 °C	0/200 °C	
NAJVIŠJI DOVOLJENI DELOVNI TLAK Max. allowable working pressure	5 bar	10 bar	
PRI TEMPERATURI At temperature	150 °C	200 °C	
NAJVIŠJI DOVOLJENI ZUN. DEL. TLAK Max. all. external working pressure	Full vacuum	Full vacuum	
PRI TEMPERATURI At temperature	150 °C	200 °C	
MIN. PRERAČUNSKA TEMPERATURA Min. design metal temperature	0°C at 5 bar	0°C at 10 bar	
PREIZKUSNI TLAK Test pressure	8 bar	17 bar	
PROSTORNINA Volume	406 L	148 L	
MEDIJ Medium	VE-water (Group 2)	Steam (Group 2)	
KOROZIJSKI DODATEK Corrosion allowance	0 mm	0 mm	
KOEFICIENT ZVARNIH SPOJEV Joint efficiency	0.85	0.85	
DODATNI PODATKI Additional data	0 / 4.5 bar	0 / 8 bar	Pressure fluctuation range
	15 / 125°C	15 / 190°C	Min/Max cycle temp.
	25000	25000	Number of load cycles
Masa - prazna posoda Empty weight	740 kg	Masa - obratovanje Operation weight	1350 kg
		Masa - tlačni preizkus Weight - hydrostatic test	1350 kg
Obratovalna lega Operating position	HORIZONTAL		Preizkusna lega Test position
			HORIZONTAL

Vir: (ECOM Ruše d.o.o., 2023)

3.3 Specifikacija materiala

Na podlagi naročnikovih zahtev in trdnostnih preračunov konstrukcija določi material, iz katerega se bo izdeloval toplotni izmenjevalec. Izbira materiala glede na obratovalne zahteve, tlačne napetosti, morebitne deformacije, temperature in zunanje vplive je zelo pomembna.

Specifikacija materiala je dokument, ki vsebuje podroben opis in lastnosti določenega materiala ali materialov, ki se uporabljajo v določenem procesu ali izdelku. Ta dokument lahko vključuje naslednje informacije:

1. vrsta materiala;
2. fizične lastnosti: opisujejo se mehanske lastnosti materiala, kot so trdota, trdnost, raztezek, gostota itd.;
3. kemijske lastnosti: navajajo se kemijske sestave materiala z vsebnostjo elementov, ki jih vsebujejo;
4. dimenzije in oblike;
5. površinska obdelava;
6. standardi in certifikati.

Specifikacija materiala, ki jo lahko vidimo v tabelah od 2 do 6, je ključna za zagotavljanje pravilne uporabe in izbire materiala ter kakovosti izdelkov ali procesov, kjer se bo material uporabljal.

Pri izdelavi toplotnega izmenjevalca je uporabljen material z oznako 1.4571 (316 Ti), ki spada pod avstenitno nerjavno jeklo, ki vsebuje krom in nikelj. Dodatek teh elementov daje jeklu dobro odpornost na korozijo in visoko mehansko trdnost.

Tabela 2: Ime in oznake materiala

Številka materiala	Ime materiala	AISI	UNS
1.4571	X6CrNiMoTi17-12-2	316 Ti	S351635

Vir: (Lastni, 2023)

Tabela 3: Kemične lastnosti materiala (%)

C	Si	Mn	P	S
≤ 0,08	1,00	2,00	0,045	0,015
Cr	Mo	Ni	Ti	
16,5–18,5	2,00–2,50	10,5–13,5	5 x C	

Vir: (Metalcor, 2023)

Tabela 4: Mehanske lastnosti materiala (20°)

Trdota HB 30	Natezna trdnost	Trdnost	Raztezek	Modul elastičnosti
≤ 215	500–700 N/mm ²	≥ 200 N/mm ²	40/30	200 kN/mm ²

Vir: (Metalcor, 2023)

Tabela 5: Fizikalne lastnosti materiala

Gostota	Specifična toplotna kapaciteta	Toplotna prevodnost	Elektro upor
8 g/cm ³	500 J/kg K	15 W/m K	0,75 Ω mm ² /m

Vir: (Metalcor, 2023)

Ta razred nerjavnega jekla ima nizko magnetnost, odlične varilne lastnosti in je primeren za hladno preoblikovanje. Material 1.4571 se lahko uporablja pri temperaturah do 550 °C, kar pomeni, da ima visoko odpornost na visoke temperature in je na ta način primeren za izdelavo toplotnega izmenjevalca.

Material je zaradi svoje odlične odpornosti proti koroziji v različnih okoljih, vključno s kislimi in s kloridi bogatimi okolji, primeren za uporabo v kemični in farmacevtski industriji.

Vzdržljivost in dolgoročno delovanje v raznih aplikacijah mu dajejo njegove dobre mehanske lastnosti, vključno z visoko natezno trdnostjo in žilavostjo.

Zaradi svoje odpornosti na korozijo in enostavnega čiščenja je ta material primeren za uporabo v industriji hrane in pijač ter v medicinski in farmacevtski industriji.

Za izdelavo izmenjevalca potrebujemo različne dimenzije, oblike in količine materiala. Material specificiramo v eno posebno tabelo, kjer so vse potrebne informacije, iz katerih se naroči material pri dobaviteljih. Tako so iz tabele razvidni naziv materiala, dimenzije, količina, certifikati in norme.

Tabela 6: Specifikacija materiala

POZ. Pos.	NAZIV MATERIALA Material name	DIMENZIJA Dimension				MATERIAL Material	NORMA Norm	KOLIČINA Quantity		TEŽA Weight (KG)	A-TEST Certificate (EN 10204)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Podnica DIN 28011		Da = 600	x	s _{min} = 5,4	1.4571	EN 10028-7	1	kos		3.1/ AD 2000
2	Podnica DIN 28011		Da = 600	x	s _{min} = 4,3	1.4571	EN 10028-7	1	kos		3.1/ AD 2000
3	Podnica DIN 28011		Da = 508	x	s _{min} = 4,3	1.4571	EN 10028-7	2	kos		3.1/ AD 2000
4	Cev šivna		D 16 x 1,5	x	5000	1.4404	EN 10217-7	260	kos	709	3.1/AD-W2
5	Pločevina	40	D 720	/	D 580	1.4571	EN 10028-7	2	kos		3.2/AD-W2
x	Altern. kovana prirob.	40	D 710	/	D 590	1.4571	EN 10222-5	2	kos		3.1/AD-W2
6	Pločevina	40	D 630	/	D 490	1.4571	EN 10028-7	2	kos		3.2/AD-W2
x	Altern. kovana prirob.	40	D 620	/	D 500	1.4571	EN 10222-5	2	kos		3.1/AD-W2
7	Pločevina	35		x	D 645	1.4571	EN 10028-7	1	kos	248	3.2/AD-W2
8	Pločevina	35		x	D 555	1.4571	EN 10028-7	1	kos	216	3.2/AD-W2
9	Pločevina	30		x	D 645	1.4571	EN 10028-7	1	kos	213	3.1/AD-W2
10	Pločevina	30		x	D 555	1.4571	EN 10028-7	1	kos	185	3.1/AD-W2
11	Pločevina	6	1500	x	2000	1.4571	EN 10028-7	1	kos	144	3.1/AD-W2
12	Pločevina	5	2000	x	3700	1.4571	EN 10028-7	1	kos	296	3.1/AD-W2
13	Pločevina	5	1500	x	3000	1.4571	EN 10028-7	1	pl	180	3.1/AD-W2

Vir: (Ecom.si, 2023)

Po specifikaciji materiala konstrukcija preda zahtevek za naročilo materiala v nabavo in s tem zaključi konstruiranje izdelka. Nabava v sodelovanju s skladiščem materiala preveri zaloge in alternative, če imamo kaj primerne že na zalogi. Ostali material, ki ni na zalogi, se naroči s sprejemljivimi dobavnimi roki ter vsemi zahtevanimi certifikati in standardi.

3.4 Izdelava tehnične dokumentacije

Tehnična dokumentacija je posebna oblika komuniciranja tehnično usposobljenih strokovnjakov na različnih področjih. (Prebil & Zupan, 2011)

Tehnična dokumentacija je skup dokumentov ki so povezani s tehnološkimi procesi za pravilno izvedbo nekega projekta ali izdelka.

Tehnično dokumentacijo je lahko sestavljena iz naslednjih elementov:

- pisni dokumenti: standardi, navodila, zbir materiala, opis korakov izvedb itd.;
- grafični dokumenti: tabele, skice, načrti, sheme itd.

Tehnično dokumentacijo izdelata konstrukcija ali tehnologija, vsebuje pa vse potrebne dokumente za nemoteno in pravilno izdelavo toplotnega izmenjevalca.

Tehnična dokumentacija vsebuje:

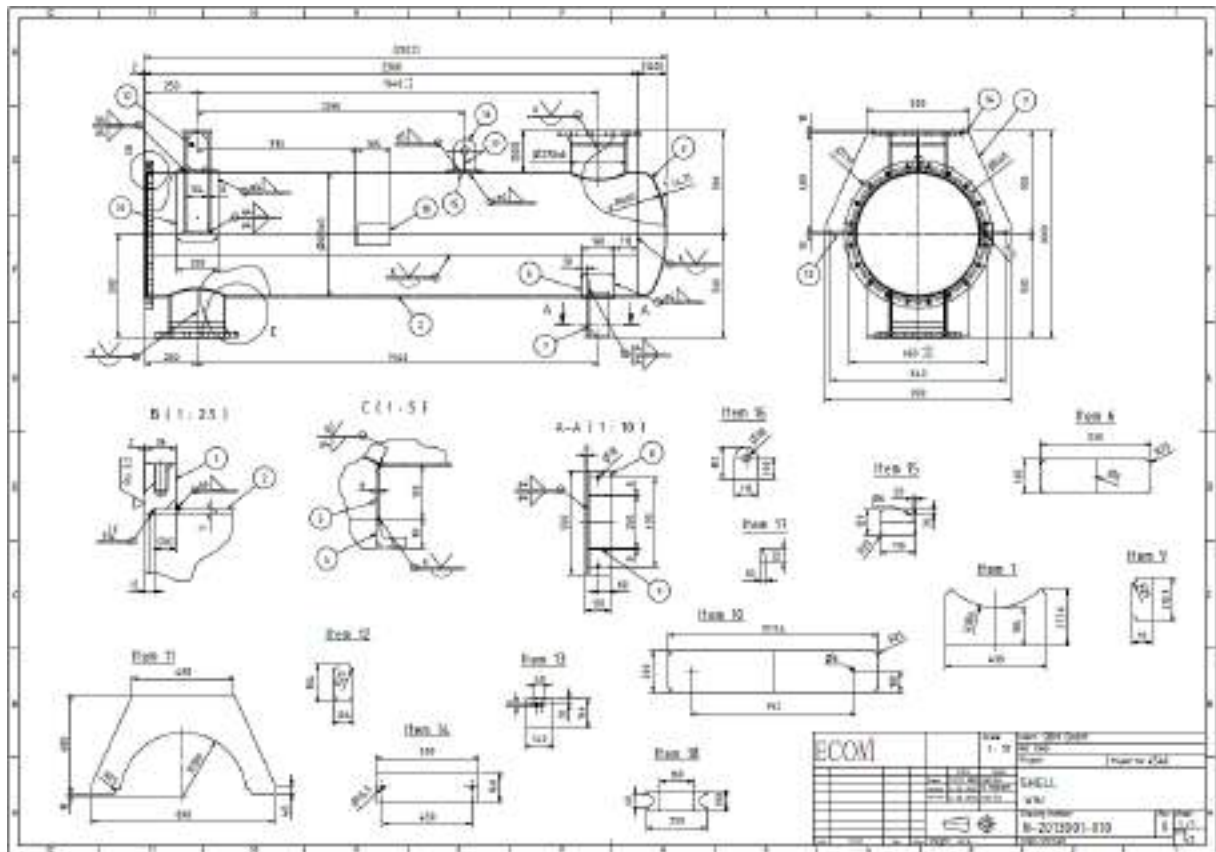
- delavniške risbe;
- delovni načrt;
- skice za sestavo;
- tehnološki list;
- navodila za varjenje;
- skice in navodila za razrez materiala;
- skice in načrti za mehansko obdelavo.

Po končanem načrtovanju in konstruiranju izdelka tehnologija razdeli posamezne pozicije izmenjevalca na detajle in sklope ter pripravi potrebno dokumentacijo za izdelavo.

Za izdelavo tehnične dokumentacije uporabljamo različne računalniške programe, kot so AutoCAD, SolidWorks, Logitrace in MasterCAM za izdelavo načrtov, skic ali razvijanja pločevine ter Microsoft Office za pisne dokumente, kot so tehnološki listi in delovni načrti.

Pregledana in potrjena dokumentacija, zložena v mape za vsak oddelek proizvodnje, se preda vodji proizvodnje in s tem se lahko začne izdelava toplotnega izmenjevalca.

Delavniške risbe in skice za sestavo sklopov so osnovni del tehnične dokumentacije, izdelane pa morajo biti tako, da so enostavne za branje in da vsebujejo vse potrebno za izdelavo izdelka. Vsebovati morejo vse potrebne dimenzije, detajle, oznake zvarov, zahtevane kakovosti in standarde za izdelavo, kot je razvidno na priloženi sliki 10.



Slika 10: Delavniška risba plašča izmenjevalca

Vir: (ECOM Ruše d.o.o., 2023)

Delavniške risbe se izdelajo in rišejo v računalniškem programu AutoCAD Mechanical, kjer tehnolog izdelava risbe za vsak sklop posebej, razvrsti pozicije in pripravi skice za potrebe proizvodnje. Ko so načrti oštevilčeni s številko načrta in označenimi pozicijami ter ostalimi oznakami in dimenzijami, so pripravljeni za proizvodnjo.

Razen delavniških risb sta zelo pomembna dokumenta še tehnološki list in delovni načrt.

Tehnološki list je dokument, na katerem so oštevilčeni vse pozicije in vsi sklopi enega projekta. Iz tehnološkega lista lahko razberemo dimenzije surovcev, vrstni red izdelave, kakovost materiala, število kosov in številko pozicije.

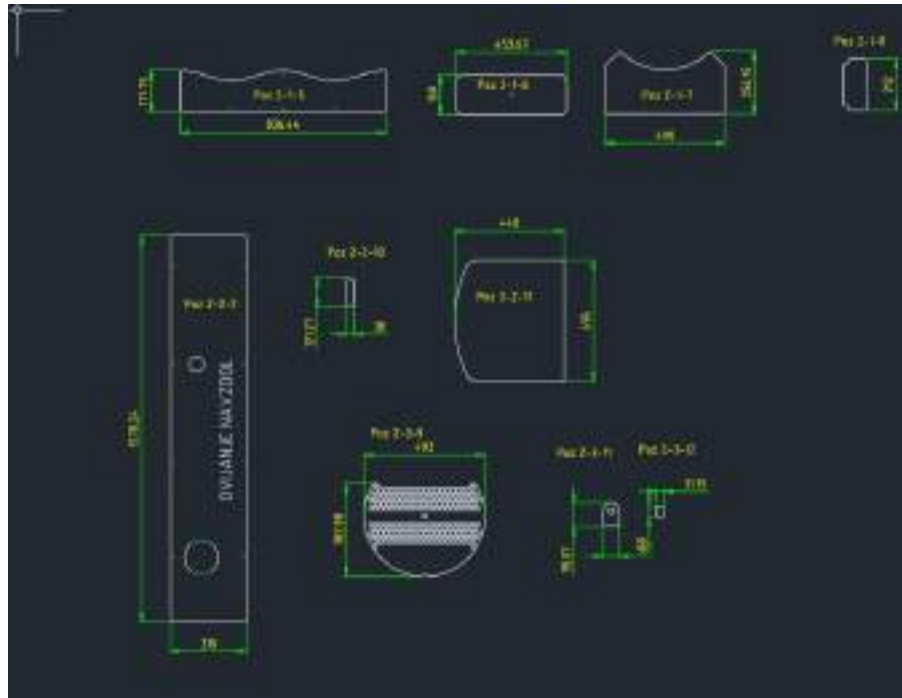
Delovni načrt, ki ga prikazuje slika 11, služi za opis delovnega postopka in je glavno vodilo v delavnici za vrstni red izdelave in opis vseh ostalih nalog pri posameznem izdelku ali projektu. Vključuje splošna navodila, navodila za ključavničarje, navodila za mehansko obdelavo in varjenje ter zahteve za kontrolo.

ECON		DELOVNI NAČRT		Naročnik	NP		Rev
				Izdelek	HEAT EXCHANGER 4548		0
				Sestavil	Datum	4.2.22	Št. načrta
FAZA	SKUPINA	NAVODILA IN OPOMBE					KONTROLA
							Ozn. Podpis
000		SPLOŠNO					
		Tlačna posoda po PED 2014/68/EU, AD-2000					
		Vhodna kontrola materiala pred razrezom (zahteve - MPS, kosovnica, tehnološki list)					
		Prenos šarž in kvalitete materiala na vse pozicije tlačnih delov					
		Varjenje tlačnih delov posode po certificiranih postopkih in specifikacijah (WPQR, WPS)					
		Kontrola zvarov in ostali preskusi AD 2000, HP0 - Tabela 1b					
		Plan kontrole kakovosti					
		Obseg dobave; Izdelava in sestava izmenjevalca po sestavnem načrtu (N-2013000-000)					
		Ukreniti vse potrebno da se prepreči kontaminacija pozicij iz nerjavečega jekla z feriti v vseh fazah izdelave					
		Posebej pazi na poškodbe na strojno obdelanih površinah! Tesnilne površine prirobnic zaščititi po strojni obdelavi					
100		PRIPRAVA POZICIJ					
101	PRIPRAVA	Razrez pozicij					
		Po tehnološkem listu (plazma, laser, vodni curek, žaga)					
		Pri razrezu na plašče zarisati isi in izreze, PRENOS ŠARŽ					
		U-cevi za izmenjevalce rezati z naddolžino ali oviti cele cevi					
102-1	SKUP. KL	Priprava zvarnih robov					
		Zvame robove na plaščih in pločevinah za cevi priključkov pripraviti po načrtu					
102-2	STROJNA OBD.	Strojna predobdelava					
		Po tehnološkem listu in načrtih					
		Pazi na ustrezen dodatek na površinah ki se obdelujejo po varjenju (označeno na načrtih)					
103	PRIPRAVA	Upogibanje, ovijanje					
		Upogibanje pozicij po tehnološkem listu, predupogibanje plaščev (zarisane osi in izrezi na zunanji strani !)					
		Ovijanje plaščev in U-cevi izmenjevalcev					
200		IZDELAVA SKLOPOV - PLAŠČI IN POKROVI IZMENJEVALCEV					
201-1	SKUP. KL	Sestava in varjenje vzdolžnih zvarov					
		Sestavi in zavariti vzdolžne zveze na plaščih in ceveh priključkov					
		RTG kontrola po varjenju					K
		Po opravljeni kontroli zveze na plaščih znotraj gladko brusiti					

Slika 11: Primer delovnega načrta

Vir: (ECON Ruše d.o.o., 2023)

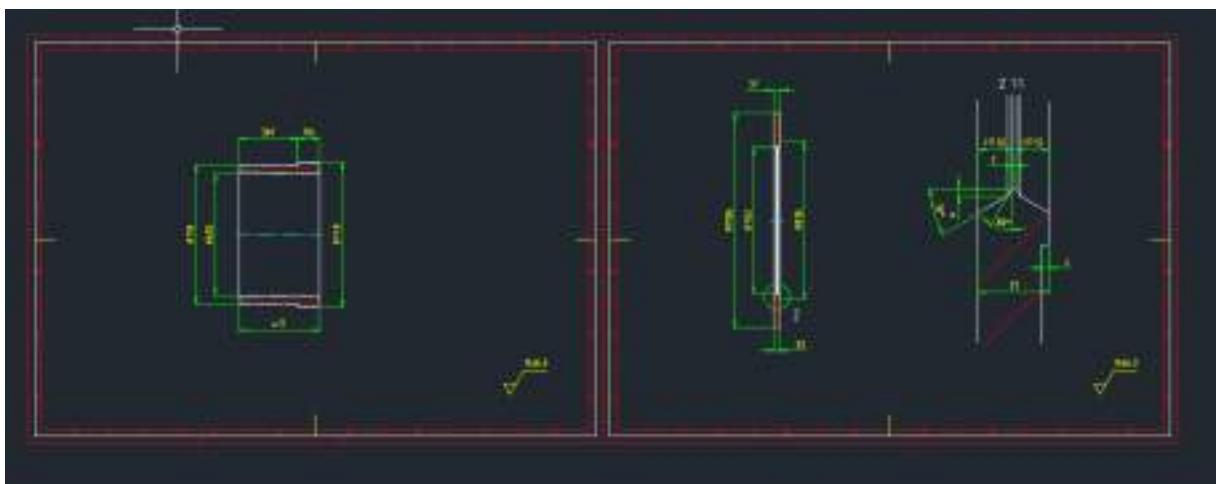
Skice in navodila za razrez materiala prav tako pripravi tehnolog, in sicer na ta način, da s posameznega sklopa izmenjevalca razvrsti vse pozicije po dimenzijah in določi tip razreza – ali je to plazemski razrez, laserski razrez, žaganje itd. Pozicije za plazemski ali laserski razrez pripravimo kot 2D-konture v programu AutoCAD Mechanical (slika 12) in na podlagi tega programerji izdelajo programe za razrez za določeni stroj.



Slika 12: Priprava pozicij za razrez

Vir: (Ecom d.o.o., 2022)

Skice in načrti za mehansko obdelavo se pripravijo na isti način kot skice za razrez materiala, ampak vsebujejo še vse potrebne dimenzije in zahteve glede obdelave površin, tolerance in posebne zahteve. Tehnolog mehanske obdelave v sodelovanju s tehnologijo izdelava skice in se te uporabljajo zgolj pri mehanski obdelavi pozicij. Načrti in skice se rišejo v programu AutoCAD Mechanical, kot je razvidno iz slike 13.



Slika 13: Skice za mehansko obdelavo

Vir: (Ecom d.o.o., 2022)

4 OPIS IZDELAVE TOPLOTNEGA IZMENJEVALCA

4.1 Priprava in sestava podsklopov

Izdelava se začne z izdajanjem in razrezom materiala po predhodno določenih navodilih in skicah konstrukcije ali tehnologije. Tehnolog izdelava tehnološki list (primer katerega lahko vidimo na sliki 14) za izdajo, razrez in upogib materiala ter pripravi skice ali navodila, po katerih se material pripravi za nadaljnje faze proizvodnje. V tehnološkem listu so zajete vse pozicije projekta in posameznih sklopov, ki so oštevilčene ter so podani zahtevan material, atest in količina. S številkami je označeno tudi zaporedje operacij – tako se točno ve, katera operacija je prva in katera zadnja v procesu izdelave. Pri razrezu pločevine na strojih CNC, kot so laser, plasma ali vodni curek, tehnolog pripravi skice in se po skicah izdelajo NC-programi, nakar se pozicije razrežejo.

TEHNOŠKI LIST										NP 4291		Ime: HEAT EXCHANGER HE-4548					
ECONI		Datum:	Sestavi:	Datum:	Rev:	Naročnik: SBM GmbH				St. račta: N-2013000-000							
					0	ZAPOREDJE OPERACIJ								OPOMBA	Atest	Rev	
						RAZREZ				PRIMER		VR	UV				STROJNA OBR.
poz	ozn	dimenzija		material	kos	sk	vr	pc	žk	L	sk	rv	uv	STROJNA OBR.	št. račta	št. 1004	
1		HEAT EXCHANGER W161			1										N-2013000-000		
1	1	SHELL W161			1										N-2013000-010		
1	1	1	Pločevina	40	D 720 / D 680	1.4571	1	K						1	2	N-2013000-011	3.3.2013 WJ
1	1	2	Pločevina	6	1800 x 2370	1.4571	1										
1	1	2a	Pločevina	5	1800 x 1950	1.4571	1			1				3		2-priprava zvarnih robov	2.9.10-D-W2
1	1	2b	Pločevina	5	1800 x 425	1.4571	1			1				3		2-priprava zvarnih robov	2.9.10-D-W2
1	1	3	Pločevina DIN 28011	Da=600 x h _{max} =4,3		1.4571	1									1=136, 0=1885	1.10.10-D-2008
1	1	4	Pločevina z grom EN 1002-1/1181	DN 250 PN16		1.4571	2										2.9.10-D-W2
1	1	5	Pločevina	6	836 x 168	1.4571	2			1				3	4	2-priprava zvarnih robov	2.9.10-D-W2
1	1	6	Pločevina	6	900 x 525	1.4571	1			1				2			2.9.10-D-W2
1	1	7	Pločevina	6	490 x 274	1.4301	1			1							3.1
1	1	8	Pločevina	10	500 x 128	1.4301	1			1							3.1
1	1	9	Pločevina	8	96 x 211	1.4301	2			1							3.1
1	1	10	Pločevina	6	200 x 1111	1.4571	1			1				2			2.9.10-D-W2
1	1	11	Pločevina	8	480 x 880	1.4301	2			1							3.1
1	1	12	Pločevina	8	104 x 184	1.4301	1			1							3.1
1	1	13	Pločevina	10	140 x 144	1.4301	2			1							3.1
1	1	14	Pločevina	10	140 x 508	1.4301	1			1							3.1
1	1	15	Pločevina	6	121 x 178	1.4571	1			1				3			2.9.10-D-W2
1	1	16	Pločevina	10	110 x 155	1.4301	1			1							3.1
1	1	17	Pločevina	8	30 x 72	1.4301	2			1							3.1
1	1	18	Pločevina	3	100 x 293	1.4301	1			1				2			

Slika 14: Primer tehnološkega lista

Vir: (Ecom.si, 2023)

Material, razrezan, upognjen in pripravljen za nadaljnjo uporabo (slika 15), se transportira do skupine ključavničarjev, ki potem začnejo s sestavo izmenjevalca.



Slika 15: Priprava materiala

Vir: (Lastni, 2023)

Delovni postopek celotne izdelave je opisan v »delovnem načrtu«, ki ga izdela tehnologija ali konstrukcija. Ključavničarski oddelek sledi delovnemu načrtu in celotni tehnični dokumentaciji, potrebni za nemoteno izvajanje procesa. Tehnična dokumentacija za potrebe ključavničarskih del vsebuje delavniške risbe, skice za sestavo podsklopov, delovni načrt in tehnološki list.



Slika 16: Sestava enega tipa izmenjevalca

Vir: (Lastni, 2023)

Tim ključavničarjev sestavlja sklop po sklop izmenjevalca, upoštevajoč vsa navodila in zahteve iz delavniških risb in delovnega načrta. Podpora proizvodnji je tehnologija, ki razdela projekt ter določi tehnologijo izdelave sklopov in pozicij.

Sestava izmenjevalca poteka v fazah izdelave, kjer po določenem sestavljenem delu sledita varjenje in kontrola ter se ta cikel ponavlja, dokler izmenjevalec ni dokončan.

Začnemo s sestavo plašča posode in z varjenjem vzdolžnih zvarov ter s sestavo cevni priključkov. Potem sledijo sestava in varjenje podpor in dvižnih ušes na plašč izmenjevalca ter varjenje istih. Sledi nastavljanje prirobnic posode, kjer je treba paziti na dolžinske mere posode in položaj izvrtin na prirobnicah. Sestavimo še podnice na pokrove izmenjevalca in zavarimo sestavljene segmente.

Pri sestavi cevne snopa pa začnemo s sestavo distančnih palic in vmesnih upornih plošč. Distančne palice in vmesne plošče se zavarijo ter začnemo z vstavljanjem cevi v cevno ploščo (slika 17). Cevi čelno poravnamo s ploščo ter jih privarimo in pripravimo za orbitalno varjenje.

Ko so vsi predvideni koraki sestave končani in so izpolnjene vse zahteve iz delovnega načrta ali delavniške risbe toplotnega izmenjevalca, potem izmenjevalec nadaljuje svojo proizvodno pot v drugi proizvodni oddelek (varjenje, kontrola, mehanska obdelava).



Slika 17: Sestava cevne snopa

Vir: (Lastni, 2023)

4.2 Varjenje podsklopov

4.2.1 Definicija in vrste varjenja

Varjenje je spajanje kovinskih ali nekovinskih delov s termičnimi postopki mehčanja ali taljenja materiala na želenem mestu spoja z ali brez dodajanja materiala. (Academia, 2023)

V osnovi postopke varjenja delimo na:

- varjenje s toplotno energijo (talilno varjenje);
- varjenje z mehansko energijo (toplo ali hladno).

Pri talilnem varjenju je treba vse osnovne dele lokalno taliti in z dodajanjem ali brez dodajanja dodatnega materiala (po navadi žice) spojit s kristalizacijo kovinske taline.

Pri varjenju z mehansko energijo ali brez taljenja zvarni spoj nastane zaradi delovanja mehanske energije (udarca, pritiska) na zvarnem mestu. Medtem na zvarnem mestu pride do plastične deformacije v vročem ali hladnem stanju ter po rekristalizaciji do spojitve delov.

Varjenje lahko delimo tudi po namenu:

- zvarjanje – spajanje dveh ali več delov z zvarnim spojem;
- navarjanje – nanašanje dodatnega materiala na osnovni material.

Obstaja več kot 30 različnih metod varjenja, vendar se običajno uporabljajo le štiri osnovne vrste – TIG, MIG, ročno-obločno in varjenje s polnjeno žico.

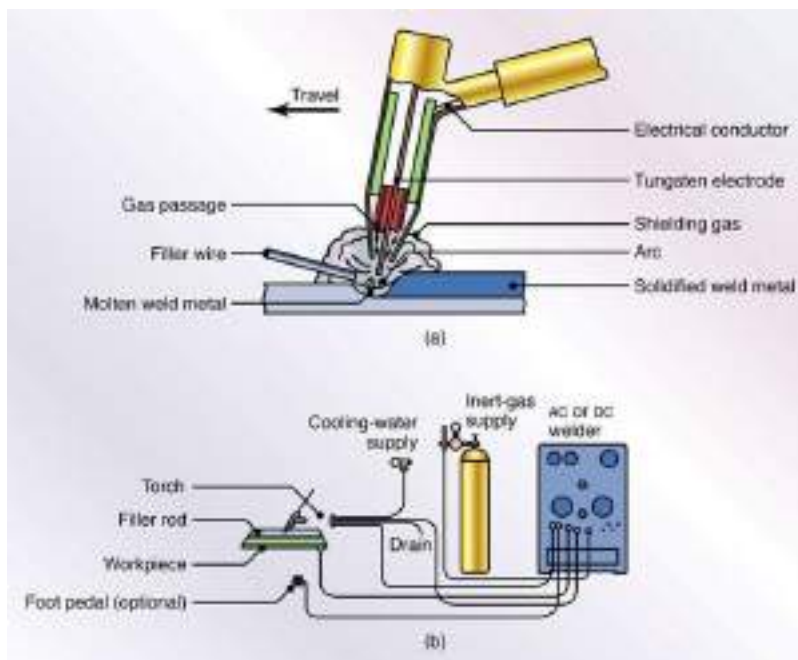
4.2.1.1 Varjenje TIG

TIG je varilni postopek, pri katerem uporabljamo netaljivo volframovo elektrodo. Je postopek varjenja v zaščitenem okolju, za kar se uporabljajo nevtralni plini – argon ali helij.

Varjenje TIG uporabljamo za varjenje legiranega jekla s pomočjo izmeničnega toka in pozitivnim polom na elektrodi ter raznih barvnih kovin z enosmernim tokom in negativnim polom na elektrodi.

Pri varjenju s postopkom TIG lahko varimo kovine z zelo visokim tališčem, ker pri njem prihaja do zelo visokih temperatur.

Velja za najkakovostnejše varjenje, je izjemno odporen proti koroziji, ni povržen razpokam in var ima zelo podobno ali skoraj identično sestavo kot osnovni material.



Slika 18: Postopek varjenja TIG

Vir: (Kovinc d.o.o, 2021)

Postopek varjenja TIG je zelo zahteven postopek in je potrebno veliko znanja in izkušenj za njegovo pravilno izvajanje. Ker je treba med varjenjem vzdrževati kratko razdaljo obloka, je veliko pozornosti treba posvetiti temu, da ne pride do stika med obdelovancem in elektrodo. Varilec za uspešno opravljeno delo potrebuje obe roki, medtem ko z eno drži gorilnik, s katerim segreva material, z drugo dodaja dodatni material in zapolnjuje var.

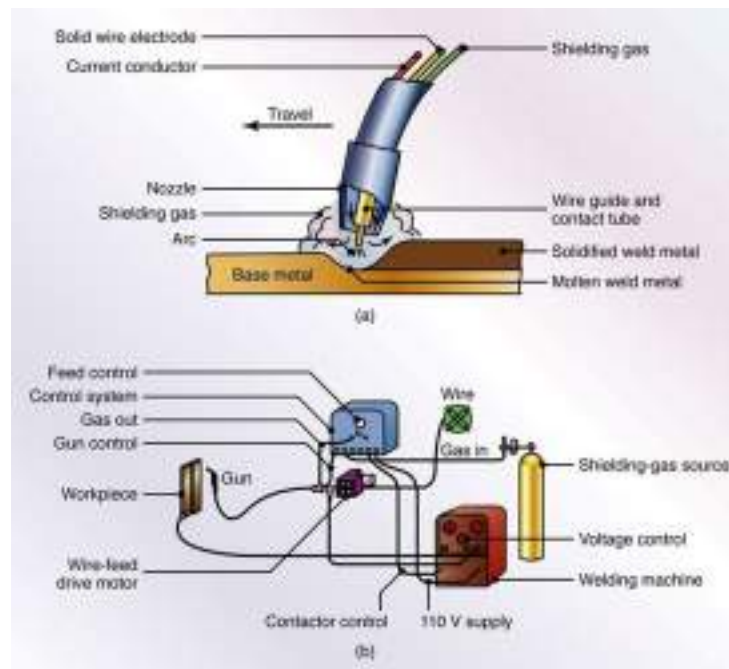
4.2.1.2 Varjenje MAG

Varjenje MAG je varilni postopek obločnega varjenja v zaščitenem okolju, za doseganje katerega uporabljamo ogljikov dioksid (CO_2). Tovrstno varjenje uporabljamo za varjenje nizko legiranih konstrukcijskih jekel in za tanko do srednje debelo pločevino.

Pri varjenju se uporablja enosmerni tok, pri katerem nastane električni oblok med žico in zvarjencem. Talita se tako osnovni kot dodatni material ter na ta način prihaja do spajanja.

Prednost postopka varjenja MAG je visoka produktivnost zaradi hitrega oddaljevanja žice, kar pomeni tudi cenejše stroške varjenja.

Eni izmed največjih prednosti sta tudi sposobnost varjenja različnih vrst in debelin materiala skupaj ter manjši vnos toplote, kar povzroči manj deformacij v primerjavi z drugimi varilnimi postopki.



Slika 19: Postopek varjenja MAG

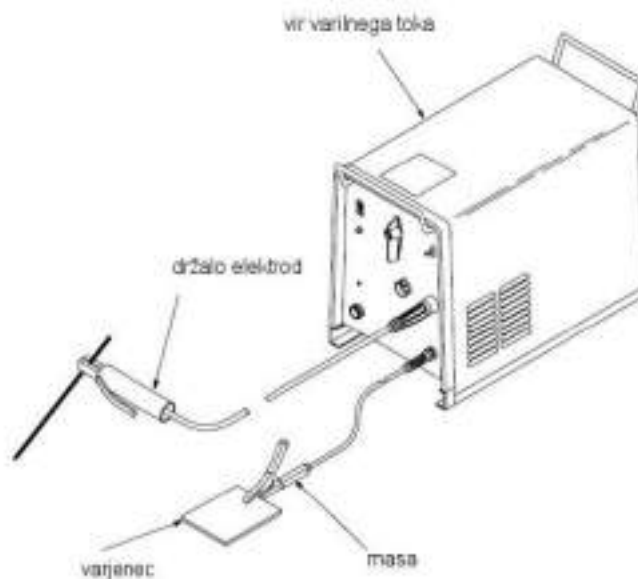
Vir: (Kovinc d.o.o., 2021)

4.2.1.3 Ročno-obločno varjenje

Ročno-obločno varjenje uporabljamo za izdelavo od najmanj do najbolj zahtevnih zvarov. Je najbolj vsestranski način varjenja in tudi zelo preprost za uporabo. Ta način varjenja lahko uporabljajo tudi manj izkušeni varilci. Električni tok je lahko enosmeren ali izmeničen, s katerim se vzpostavi električni oblok med zvarjencem in elektrodo ter kateri tali elektrodo in osnovni material.

Električni oblok pa vzpostavimo tako, da med obdelovancem in elektrodo naredimo kratek stik, in ko se oblok vžge, začne taliti obdelovanec in elektrodo.

Najpogostejše težave in napake pri takem varjenju so povezane s slabim taljenjem, brizganjem, poroznostjo in pretaljenostjo zvarnih spojev.

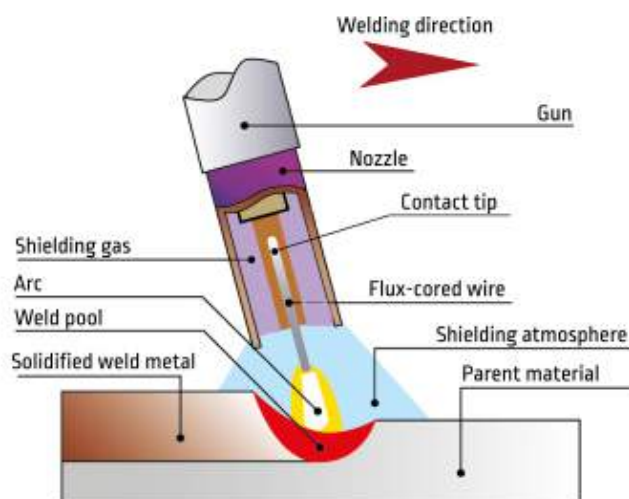


Slika 20: Primer ročno-obločnega varilnega aparata s komponentami

Vir: (SQS, profesionalna industrijska oprema, 2022)

4.2.1.4 Varjenje s polnjeno žico

Zelo podobno varjenje kot postopek MAG, le da v tem primeru ni ločenega zaščitnega plina, ampak ima žična elektroda tok v svojem jedru, ki potem ustvari lastni ščit. Zaradi tega je tako varjenje zelo razširjeno na prostem, kjer zunanji vplivi (veter) ne vplivajo na kakovost zvara.



Slika 21: Prikaz varjenja s polnjeno elektrodo

Vir: (SQS, profesionalna industrijska oprema, 2022)

4.2.2 Uporabljene metode varjenja pri izdelavi toplotnega izmenjevalca

Pri varjenju toplotnega izmenjevalca sta uporabljeni dve osnovni metodi varjenja, in sicer TIG in MAG.

Varilno dokumentacijo pripravi varilni tehnolog, in sicer v obliki specifikacije varilnega postopka (Welding Procedure Specification), ki se pripravi na podlagi zahtevanih standardov, modulov in kakovosti zvarnih spojev.

Specifikacija varilnega postopka je dokument, ki služi kot vodilo za učinkovito ustvarjanje zvara, ki izpolnjuje vse zahteve in proizvodne standarde. Ti postopki zagotavljajo jasna navodila za kakovostno izdelavo zvarov in izdelkov ter vključujejo vse podrobnosti in informacije, ki so potrebne za izdelavo želenega zvara. (Weldinginfo, 2022)

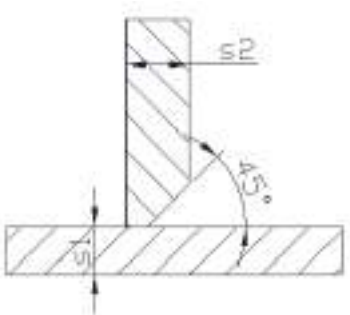
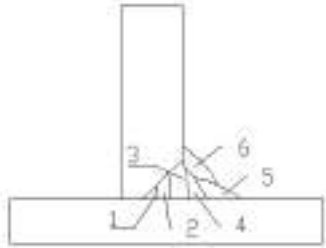
Iz specifikacije varilnega postopka lahko razberemo osnovne podatke, kot so osnovni material zvarjenja, dodajni material, zaščitni plin in debeline materialov.

Razvidnih je tudi nekaj zelo pomembnih podatkov za varilca:

- položaj zvara;
- vrsta priprave in čiščenja;
- zgradba vara;
- varilni pretok;
- hitrost varjenja;
- varilni tok;
- varilni koraki.

Z upoštevanjem vseh teh korakov in podatkov ima varilec vse pogoje za izdelavo popolnega zvara, brez večjih napak in nepravilnosti.

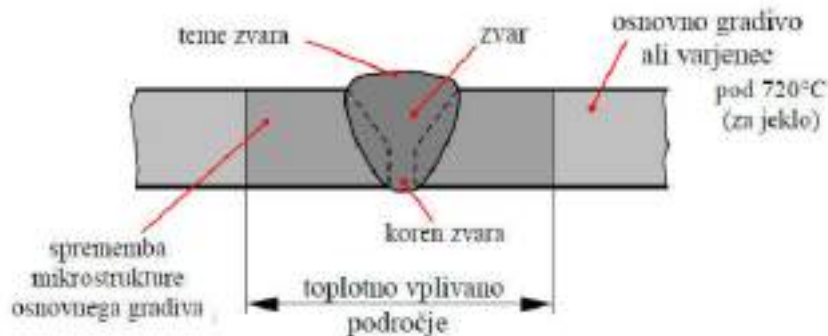
Na sliki 22 je primer specifikacije varilnega postopka za utorno-kotni zvar, ki ga uporabljamo pri izdelavi toplotnega izmenjevalca. Ko je specifikacija varilnega postopka končana in potrjena s strani stranke in inšpektorata, je možno začeti z varjenjem toplotnega izmenjevalca. Specifikacijo je treba izdelati za vse oblike zvara, ki se pojavljajo pri posamezni posodi ali v tem primeru pri toplotnem izmenjevalcu.

		INŽENIRING, PROIZVODNJA, STORITVE IN TRGOVINA ECOM Ruše d.o.o. Ob železnici 5, 2342 Ruše, SLOVENIJA Tel.: ++386/2-673-0300; Fax.: ++386/2-662-0791							
		SPECIFIKACIJA VARILNEGA POSTOPKA WELDING PROCEDURE SPECIFICATION				WPQR N°: 0036-SI-16-02-1114-004 Date:		WPS N°: 04-4474 Name.:	
Naročnik: Client:		Št. pogodbe: Contract nr.:		Načrt št./Drawing nr.:					
Varilec / Welder		Položaj var. /Welding position <i>PF/PA</i>		Osnovni material/ Base material W.Nr: 1.4404/ 1.4571					
Varil. posto. / Welding process 141		Oblika zvara / Weld type: <i>GW + FW</i>		Debelina pločevine/Metal thickness <i>S1=8mm S2=3-12mm</i>					
Oznaka zvara / Welding sign: T-7, T-11				Vrsta priprave in čiščenja: Brušenje in ščetkanje Initial and interpass cleaning: Grinding and brushing					
Oblika zvarnega žleba / Welding shape:				Zgradba zvara / Welding structure:					
									
Dodajni material/ Filler:				Plini/Gases:					
	EN Quality	(W.Nr)	Znamka Brand:	Proizvajalec Manufacturer	Zaščitni plin : ARGON 4.6 Inert gas :			Pretok: 8-10 l/min Flow:	
Koren/Root	W 19 12 3LSi	1.4430	Cromatig 316LSi	ELGA	Zaščitni plin – polnilni varki: Inoxline C2 Inert gas – Filling-Weld:			Pretok: 14-18 l/min Flow:	
Polnilni/Filling	W 19 12 3LSi	1.4430	Cromatig 316LSi	ELGA					
Temp. predgrevanja: / Preheating temperature: /					Zaščitni plin – koren: ARGON 4.6 Inert gas – root:			Pretok: 8-10 l/min Flow:	
Način predgrevanja: / Type of preheating: /									
Varek: Weld:	Postopek: Process	Φ dod. mat. Φ Filler	Vrsta toka Currenty	Polariteta Polarity	Var. tok Current	Napetost Voltage	Vnos toplote Heat input	Hitrost var. Welding speed	Čas Δt _{8/5} Time Δt _{8/5}
1,2,3	141	Ø2,0 mm	DC	(-)	160-190 A	11-13 V	/	4-6 cm/min	/
4,5,6	141	Ø2,4 mm	DC	(-)	140-170 A	11-12 V	/	6-10 cm/min	/
Hitrost pomika žice / Wire speed:							Nihanje: Da Fluctuations:		
Hitrost varjenja / Welding speed:									
Tehnika varjenja / Welding type:					Medvark. temperat. / Interpass temperature. ≤150°C				
Varjenje / Welding:					Spenjanje / Tack weld:				
Žleblenje:					Čiščenje:				
Gouging:					Cleaning:				
Kontrola in obseg, 100%VT Inspection and scope:								Stopnja: / Level: /	
Wolframova elektroda: Ø2,4 mm RED Wolfram electrode: /			Keramična šoba: Ø7mm Ceramic nozzle: /		Izdelal / Prepared:			Potrdil / Approved:	
Klasifikacija napak / Quality clasification: ISO 5817, Klasse B			Posebnosti/Further info.:		Datum/Date:			Date:	

Slika 22: Primer specifikacije varilnega postopka

Vir: (Ecom Ruše d.o.o., 2022)

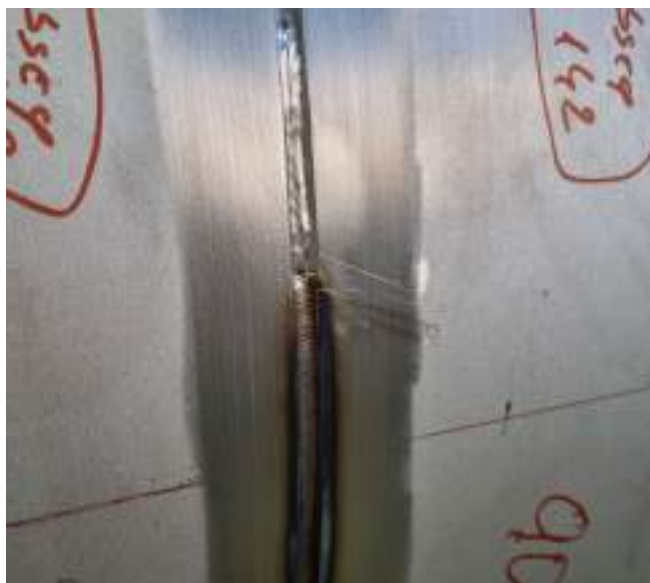
Kot je bilo omenjeno, pri toplotnem izmenjevalcu uporabljamo dve metodi varjenja, in sicer TIG in MAG.



Slika 23: Prikaz osnovnih delov vara

Vir: (STS Koper, 1998)

Metodo TIG uporabljamo pri sočelnih in radialnih zvarih na plašču posode, kjer je potrebna prevaritev spoja. Z metodo TIG izdelamo koren vara (slika 23), ki nastane na nasprotni strani varjenja. Glede na zahteve in specifikacijo varjenja lahko s postopkom TIG zavarimo celoten var, ampak na ta način tvegamo velik vnos toplote v zvarjenec in s tem tudi večje morebitne deformacije. V tem primeru po izdelavi korena vara lahko var zapolnimo s postopkom MAG, kjer zaradi hitrejšega varjenja pridobimo na produktivnosti, ampak je treba več pozornosti posvetiti brušenju in ščetkanju zvara po vsakem zvarku.



Slika 24: Prikaz korena zvara

Vir: (Lastni, 2023)

4.3 CNC Mehanska obdelava

Mehansko obdelavo kovin lahko opišemo kot spreminjanje dimenzije, oblike ali lastnosti kovine za nadaljnjo uporabo. Mehansko obdelavo izvajamo na za to primernih strojih za obdelavo kovine ali drugih materialov z vnaprej določenimi orodji, da v najkrajšem možnem času dobimo izdelek zadovoljive kakovosti. Z obdelovalnimi stroji nadomeščamo človeško delo ob povečanju ekonomičnosti, produktivnosti in natančnosti.

Poznamo več različnih vrst mehanske obdelave kovin, in sicer struženje, rezkanje, vrtanje, brušenje, žaganje, pehanje, valjanje, posnemanje in drugo.

Obdelovalni CNC stroji so tehnološki napredni in sodobni stroji za obdelavo kovine, ki so upravljani računalniško. Samo ime CNC (Computer Numerical Control) ali računalniško numerično krmiljenje nam pove, da računalniško upravljamo strojem in na ta način izdelamo poljubne izdelke ali opravljamo želene operacije na posameznih izdelkih.

Mehansko obdelavo pri toplotnem izmenjevalcu delimo na:

- struženje;
- rezkanje/vrtanje.

4.3.1 Struženje

Struženje je eden najbolj razširjenih postopkov odrezovanja za obdelavo valjastih oblik obdelovanca. Stružimo lahko tudi neokrogle oblike ali ravne ploske. Struženje je enorezilni postopek obdelave, kar pomeni, da je orodje za obdelavo sestavljeno iz samo enega rezila. Struženje lahko delimo na vzdolžno in prečno, glede na to, v katero smer poteka podajalno gibanje.

Glavno gibanje pri struženju je vrtilno in ga vedno opravlja obdelovanec, medtem ko se orodje premika premočrtno po oseh X in Z.

Postopke struženja lahko glede na kinematiko gibanja delimo na:

- vzdolžno struženje;
- čelno struženje;
- profilno struženje;
- struženje navojev;
- kopirno struženje;
- zarezovalno struženje.

Struženje se izvaja na vertikalnih ali horizontalnih stružnicah, ki se tudi delijo na maloserijske in velikoserijske stružnice, kaj pomeni, da so primerne za manjše ali velike serije obdelovancev. Klasične stružnice pa zmeraj pogosteje nadomeščajo CNC stružnice (slika 25), in sicer zaradi ekonomičnosti, večje produktivnosti in boljše kakovosti izdelkov.



Slika 25: CNC Stružnica

Vir: (Mazak, 2023)

Za struženje je razvitega veliko različnega orodja zaradi različnih del, ki jih lahko opravimo s struženjem. Orodja iz hitroreznega jekla (HSS) so zamenjala orodja z izmenljivimi ploščicami iz karbidne trdine, ki so tudi standardizirana. Tako lahko uporabljamo za eno držalo več ploščic različnih proizvajalcev in različnih kakovosti enake oblike.

Orodje za struženje, katerega nekaj primerov je na sliki 26, delimo na leva in desna držala, za zunanje ali notranje struženje. Obstajajo različne velikosti držal in stružnih ploščic, različnih geometrij in oblik ter tudi različne kakovosti za vse vrste materialov, od gume in plastike do nerjavnih jekel in specialnih materialov.

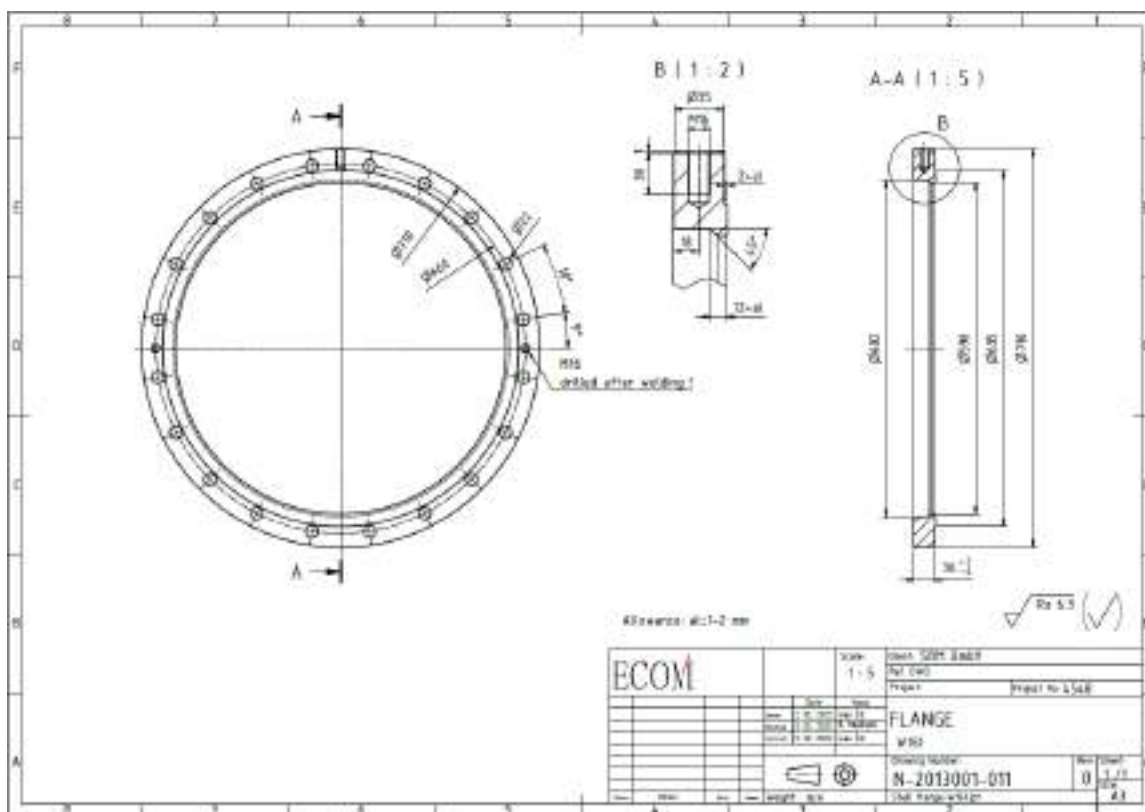


Slika 26: Stružna držala

Vir: (Brisloy, 2023)

Struženje pozicij toplotnega izmenjevalca poteka po navodilih tehnologa mehanske obdelave in vnaprej pripravljeni tehnični dokumentaciji. Struženje pozicij se izvaja na klasičnih stružnicah in vertikalni stružnici CNC. Tehnolog določi tehnologijo obdelave, izbere primerno orodje in stroj ter določi vrstni red obdelave pozicij.

Večino pozicij zaradi svojih velikosti stružimo na vertikalni stružnici CNC ali tako imenovanem »karuselu«.



Slika 27: Načrt prirobnice TI

Vir: (ECOM Ruše d.o.o., 2023)

Surovec dimenzij Ø720/Ø580 in debeline 40 mm stružimo na zahtevane dimenzije po načrtu. Struženje poteka v dveh fazah, in sicer najprej struženje notranjega premera in zgornje površine, nato kos obrnemo ter stružimo zunanji premer in spodnjo površino.

Razen stranskih prirobnic izmenjevalca stružimo tudi cevne plošče na dimenzije po načrtu ter ostale priključke in pozicije, potrebne za izdelavo izmenjevalca.

Tabela 7: Osnovni podatki in parametri za struženje

Parametri struženje	Tip držala	PWLN R 2525M-08
	Ploščica	Walter – WNMG 080408-MM5 WSM30S
	Dimenzije surovca	Ø720/Ø580 x 40
	Št. vrtljajev (rpm)	80
	Rezalna hitrost (vc) m/min	130
	Podajanje (mm/rev)	0,3
	Globina reza (mm)	2
	Hlajenje	Emulzija

Vir: (Lastni, 2023)

4.3.2 Rezkanje/vrtanje

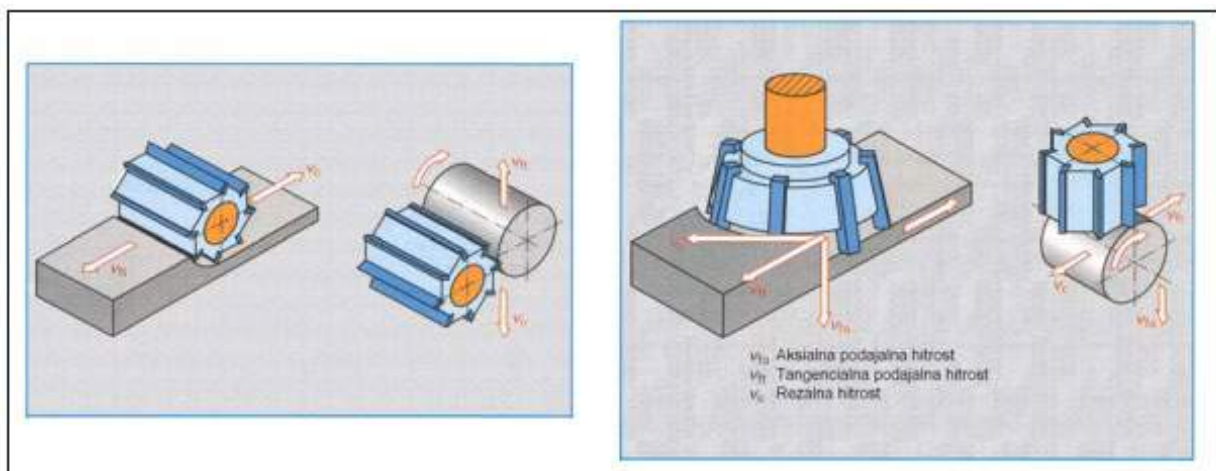
Rezkanje je postopek odrezovanja, pri katerem glavno vrtilno gibanje opravlja orodje – rezkalo, podajalna gibanja pa so lahko rotacijska ali premočrtna. Rezkanje se večinoma uporablja za obdelavo ravnih površin, ampak z novimi tehnologijami in stroji lahko rezkamo še skoraj vse vrste oblik in kontur.

Rezkanje delimo na:

- valjasto ali obodno rezkanje: rezkar se dotika obdelovanca s svojim obodom;
- čelno rezkanje: rezkar se obdelovanca dotika s svojim čelom.

Rezkanje se izvaja na rezkalnih strojih ali v današnjem času na obdelovalnih centrih, ki so lahko 3-, 4- ali 5-osni.

V sodobnem času se največ uporabljajo rezkalne glave in držala na izmenljive ploščice iz karbidne trdine ter stebelni rezkarji iz karbidne trdine.



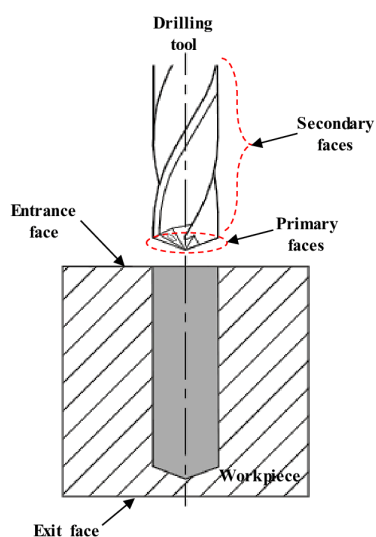
Slika 28: Obodno in čelno rezkanje

Vir: (Hamler, 2008)

Vrtanje je postopek odrezovanja z orodjem, običajno z dvema rezalnima roboma – svedrom. Glavno gibanje je vrtiljivo in ga opravlja orodje, premika se premočrtno v smeri svoje osi proti obdelovancu.

Vrtanje uporabljamo za izdelavo izvrtin, delimo pa ga lahko na:

- navadno vrtanje;
- globoko vrtanje;
- vrtanje z jedrom.

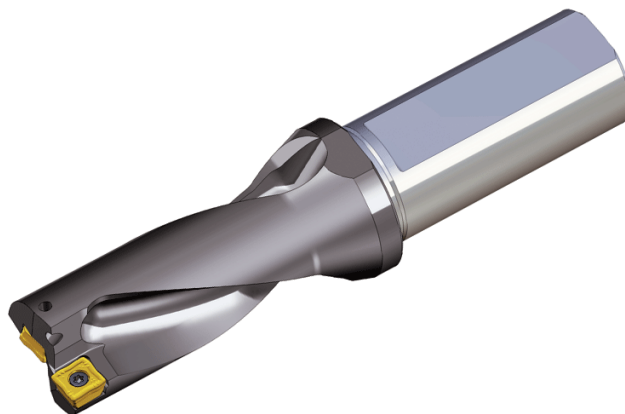


Slika 29: Osnovni prikaz vrtanja

Vir: (Spletni vir, 2023)

Navadno vrtanje

Za vrtanje izvrtin do $5 \times D$ (premer svedra $\times 5$, $\varnothing 20 \times 5 = 100$) večinoma uporabljamo vijačne svedre z dvema reziloma, svedre na izmenljive ploščice (slika 30) ali na konice iz karbidne trdine. Glede na izbiro in kakovost svedra in njegovih karakteristik dosežemo tudi kakovost in obdelavo izvrtine.



Slika 30: Sveder na izmenljive ploščice

Vir: (TaeguTech, 2023)

Globoko vrtanje

Vrtanje zelo dolgih izvrtin, celo do $20 \times D$ ali še več. Uporabljajo se posebna orodja za vrtanje, svedri z neenakomernim rezilom, notranjim hlajenjem.

Vrtanje z jedrom

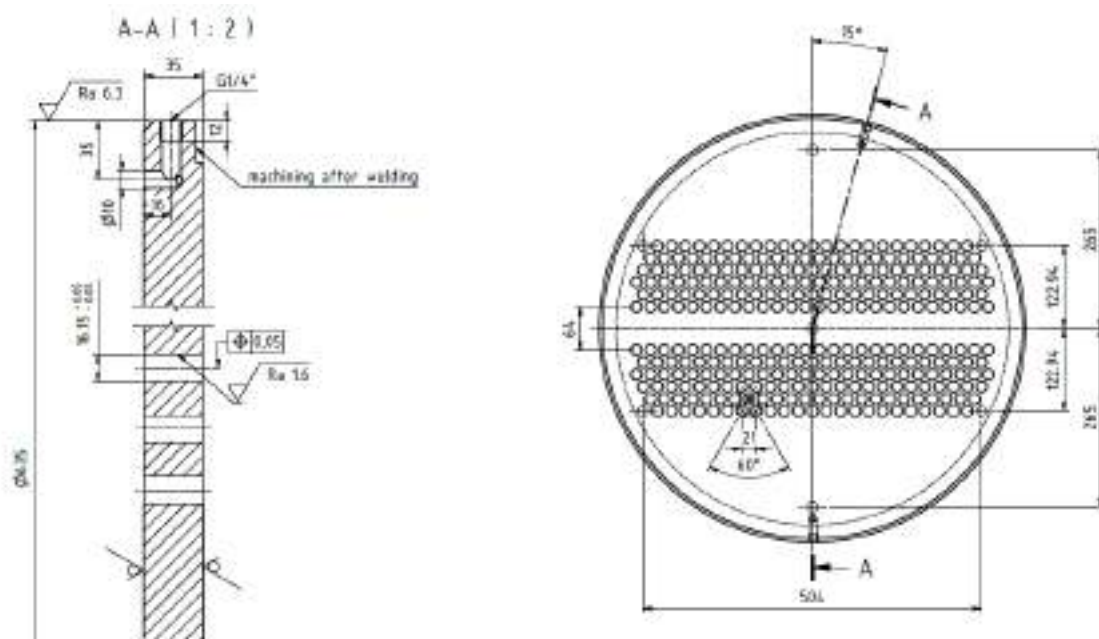
Vrtanje z jedrom se uporablja največ pri izvrtinah večjega premera, kjer izrežemo samo ozek zunanji pas izvrtine, sredina materiala ostane in ga lahko uporabimo za nadaljnjo proizvodnjo. Uporabljamo kronske svedre, s katerimi lahko dosegamo tudi velike globine vrtanja. Vrtanje z jedrom je ekonomično vrtanje, ker je pri velikih izvrtinah zelo malo odpada.

4.3.2.1 Vrtanje cevnih plošč

Vrtanje cevnih plošč je zelo pomemben del izdelave toplotnega izmenjevalca. Cevne plošče lahko imajo od 100 do 500 izvrtin s podano toleranco in zahtevano hrapavostjo stene izvrtine.

Vrtanje cevnih plošč se izvaja na CNC obdelovalnem centru s krmilnim sistemom Sinumerik 828d. Program v obliki G kode je izdelan na podlagi načrtov in tehnične dokumentacije v računalniškem programu MasterCam.

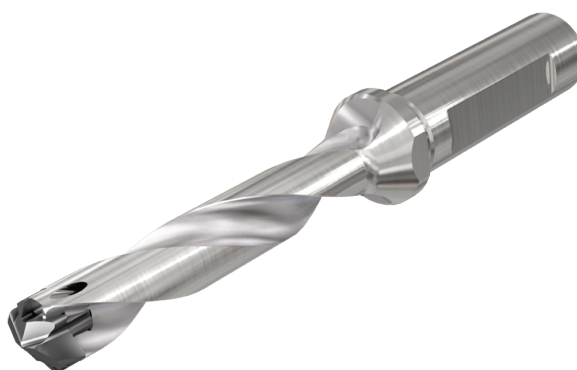
Zahtevana dimenzija izvrtine je $\varnothing 16,15 \pm 0,05$ s površino Ra1,6 in pozicijo izvrtine v 0,05 mm.



Slika 31: Detajl iz načrta cevne plošče

Vir: (ECOM Ruše d.o.o., 2023)

Za vrtanje uporabimo svedre z izmenljivo konico iz karbidne trdine in notranjim hlajenjem proizvajalca Iscar (slika 32), primerno za vrtanje v material 1.4571 (316 Ti). Izvrtine vrtamo s konicami dimenzije $\varnothing 16$. Po vrtanju plošč je treba izvrtine povrtati na zahtevano toleranco $\varnothing 16,15 \pm 0,05$. Za povrtanje uporabimo povrtalo z nazivno mero $\varnothing 16,15$ mm.



Slika 32: Sveder na izmenljive konice

Vir: (Iscar IMC, 2023)

Na podlagi proizvajalčevih priporočil ter karakteristik držala in izmenljive konice tehnolog za mehansko obdelavo določi vrtalne parametre. Treba je upoštevati vpetje svedra, vpetje cevne plošče (ali je stabilno ali nestabilno), hlajenje in moč črpalke, zmogljivost stroja ter zmogljivost orodja. Poskušamo izkoristiti maksimalno življenjsko dobo vrtalne konice ter na ta način ekonomično in produktivno izdelati eno cevno ploščo.

Tabela 8: Parametri in osnovni podatki

Parametri vrtanja	Proizvajalec orodja	Iscar
	Držalo	DCN 160-048-20A-3D
	Izmenljiva konica	ICM 160 IC908
	Število izvrtin (n)	298
	Globina vrtanja	37 mm
	Št. vrtljajev (rpm)	1200
	Rezalna hitrost (vc) m/min	60
	Podajanje (mm/min)	220
	Hlajenje	Emulzija, skozi vreteno

Vir: (Lastni, 2023)

4.3.2.2 Povrtavanje cevnih plošč

Povrtavanje je eden izmed načinov mehanske obdelave, ki se uporablja za fino obdelavo izvrtin. Orodja, ki jih uporabljamo za povrtavanje, se imenujejo povrtala in so sestavljena iz več rezil. Povrtavanje glede na natančnost in kakovost obdelave lahko spada v področje fine obdelave. S povrtanjem odstranimo zelo tanko plast materiala in tako dosežemo zelo fino obdelavo površine.

Pri povrtanju izvrtin cevne plošče imamo dodatek 0,15 mm po premeru do nazivne mere. Uporabljamo HSS povrtalo, namensko brušeno na premer Ø16,15, s katerim povrtamo vse izvrtine na cevni plošči na zahtevano toleranco z zahtevano kakovostjo obdelave, kar je v našem primeru Ra1,6.

Za doseganje fine obdelave pri povrtanju je treba imeti nizko rezalno hitrost in majhno podajanje. Parametre za povrtavanje s HSS povrtalom lahko najdemo v Strojniškem priročniku.

Tabela 9: Parametri za povrtavanje

POVRTAVANJE Z POVRTALI IZ HITROREZNEGA JEKLA								
Obdelovalni material	Rezalna hitrost m/min	Vrtilna frekvenca in podajanje	Premer povrtala d (mm)					
			6,3	10	16	25	40	63
jeklo do 700 Mpa	7,00	n min-1	355	224	140	90	56	35,5
		f mm/vrt	0,45	0,56	0,71	0,90	1,10	1,40
jeklo nad 700 Mpa	2,24	n min-1	112	71	45	28	18	11,2
		f mm/vrt	0,20	0,25	0,31	0,40	0,50	0,63

Vir: (Kraut, 2021)

Zelo pomembno za doseganje kakovostne obdelave in preprečevanje hitre obrabe orodja je dobro mazanje. Pri povrtavanju kot mazilo uporabljamo mazilno sredstvo Jokisch HDS-400 CF.

Povrtavanje izvrtin na zahtevano toleranco je dolgotrajen postopek, kajti za eno cevno ploščo zasedemo stroj za kar 15–16 ur. To znaša skoraj 80 % celotne obdelave cevne plošče, vključno s struženjem in vrtanjem. Postopek je prikazan na sliki 33.

Pri povrtavanju s HSS povrtalom je obraba orodja zelo velika, za 1 cevno ploščo obrabimo 2 povrtali HSS. Treba je zamenjati povrtalo po povrtanih približno 150 izvrtinah, kajti dimenzija izvrtine in kakovost obdelave se spreminjata z obrabo povrtala – kakovost izvrtin pada.



Slika 33: Povrtavanje cevnih plošč

Vir: (Lastni, 2023)

4.3.2.3 Optimizacija mehanske obdelave

Za zvišanje produktivnosti pri izdelavi toplotnega izmenjevalca je treba zmanjšati čas izdelave. Pri mehanski obdelavi smo opazili možnost za izboljšavo, in sicer pri povrtavanju izvrtin na cevni plošči. Kot je bilo omenjeno, je čas povrtavanja znašal 15–16 ur na ploščo s povrtalom HSS. Z raziskovanjem možnosti in tehnoloških izboljšav na področju povrtavanja bi lahko zmanjšali čas izdelave in tako dvignili produktivnost.

Ustrezna rešitev se je pokazala v obliki hitroreznih povrtal iz karbidne trdine, ki zmorejo večje rezalne hitrosti in podajanja.

Problem je nastal pri dimenziji izvrtine, saj $\varnothing 16,15$ ni standardna dimenzija povrtala in ga ni mogoče dobaviti. Rešitev smo našli v brušenju večjega povrtala na želeno dimenzijo, ampak zaradi velikega števila izvrtin na cevnih ploščah in »predelave« povrtala dobavitelji niso zagotavljali enakih obdelovalnih rezultatov kot pri originalnih povrtalih.

Edina profesionalna rešitev je izdelava namenskega povrtala, kar smo v sodelovanju s proizvajalcem orodja Iscar tudi naredili. Odločili smo se za hitrorezna izmenljiva povrtala (slika 34), kjer je držalo vpeto v vpenjalno glavo in po obrabi menjavamo samo povrtalno konico. Tako lahko brez izpenjanja in ponovnega umerjanja orodja enostavno obrabljeno konico odvijemo in jo zamenjamo z novo.



Slika 34: Držalo in izmenljivo hitrorezno povrtalo

Vir: (Iscar IMC, 2023)

Z uporabo hitroreznega povrtala smo čas povrtavanja cevni plošč na zahtevano dimenzijo izvrtin iz 15 ur zmanjšali na 2 uri, upoštevajoč rezalne parametre proizvajalca orodja.

Čas povrtavanja izvrtine s HSS povrtalom je znašal okrog 2,5 minute. Ta čas smo s hitroreznim povrtalom zmanjšali na 15 sekund neto po izvrtini, kakovost obdelave pa je ostala nespremenjena, zahtevana hrapavost površine ne presega Ra1,6. Obraba orodja je manjša kot pri HSS povrtalu, izdelamo lahko od eno do eno in pol ploščo z eno konico. Medtem ko smo na eno ploščo porabili dve povrtali HSS. Strošek orodja je bistveno večji pri hitroreznem kot pri HSS povrtalu.

Tabela 10: Parametri za povrtavanje s hitroreznim povrtalom

Parametri povrtavanja	Proizvajalec orodja	Iscar
	Držalo	RM-BNT7-3D-20C
	Izmenljiva konica	RM-BN7-16.15-H7LB
	Število izvrtin (n)	298
	Globina povrtanja	37 mm
	Št. vrtljajev (rpm)	700
	Rezalna hitrost (vc) m/min	35
	Podajanje (mm/min)	250
	Hlajenje	Emulzija, skozi vreteno

Vir: (Lastni, 2023)

S hitroreznim povrtalom smo zvišali strošek nabave orodja, ampak smo bistveno zmanjšali čas obdelave in zasedenosti stroja. Po kalkulacija nam pokaže, da smo strošek povrtavanja zmanjšali za okrog 2/3, kar je z uporabljenim časom povrtavanja odličen dosežek.

Tabela 11: Strošek povrtavanja

Orodje	Čas obdelave	Št. uporabljenih orodji	Cena orodja	Strošek stroja 100 EUR/ura	Strošek skupaj
HSS povrtalo	15 ur	2	40 EUR	1500 EUR	1580 EUR
Hitrorežno povrtalo	2 ure	1	360 EUR	200 EUR	560 EUR

Vir: (Ecom, d. o. o., 2022)

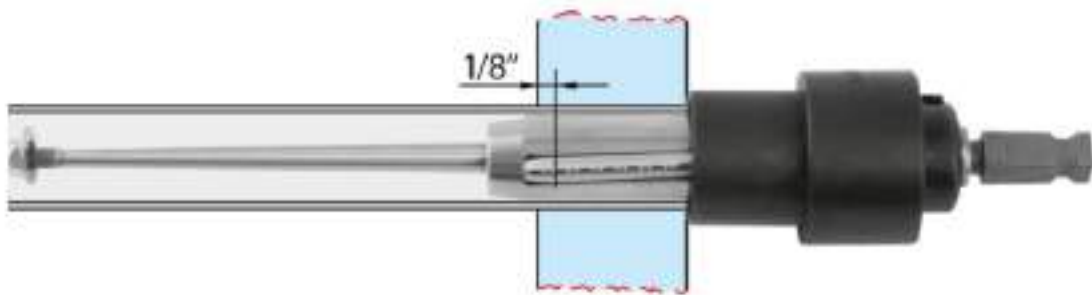
S prehodom na hitrorezna povrtala smo dvignili produktivnost izdelave toplotnega izmenjevalca. Zaradi zmanjšanja časa izdelave cevni plošč smo zmožni v istem času izdelati veliko več ter na ta način hitreje in boljše podpirati celotni proces proizvodnje. Z optimizacijo mehanske obdelave smo dvignili učinkovitost in izkoristek pri vrtanju cevni plošč izmenjevalca.

4.4 Uvaljanje cevi v cevne plošče

Uvaljanje cevi v cevne plošče je ena izmed ključnih funkcij pri proizvodnji toplotnih izmenjevalcev. Z uvaljanjem dosežemo močno povezavo med cevmi in cevnimi ploščami ter vodotesnost, s katero preprečimo izgubo toplote ali tekočine. Postopek uvaljanja zagotavlja medsebojno tesno prilagajanje cevi in cevnih plošč pri toplotnih izmenjevalcih ter učinkovito prenašanje toplote in tekočin.

Uvaljanje cevi v cevne plošče se izvaja s posebnimi orodji. Cevi se pravilno položijo v cevne plošče, ki lahko imajo v izvrtinah posebno izdelane uture za boljše tesnjenje. Izvrtine so lahko tudi brez utorov, z zelo gladko površino za boljši oprijem cevi pri uvaljanju. Cevi v cevne plošče brez utorov v izvrtinah ali pri posodah z nevarnimi snovmi in morebitnimi nevarnimi dogodki, če pride do spuščanja, čelno zavarimo.

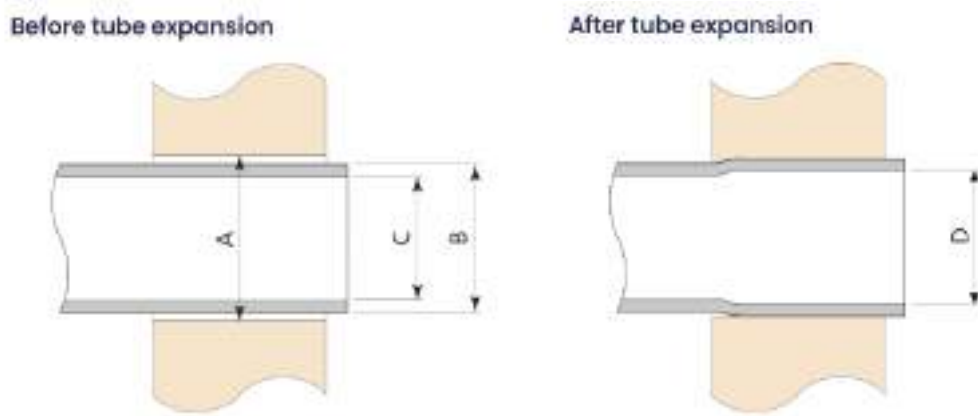
Cevi v izmenjevalcu so šivne cevi Ø16 z debelino stene 1,5 mm in iz materiala 1.4404 (316L). Orodje za uvaljanje je od proizvajalca opreme za uvaljanje in ekspanziranje cevi Krais. To je specialno orodje, ki s silo in valji deluje na notranjo steno cevi in jo na ta način ekspanzira ter se zunanji del cevi tesno prilega s steno izvrtine v cevni plošči toplotnega izmenjevalca.



Slika 35: Nastavek za uvaljanje cevi

Vir: (Krais, 2023)

Pri uvaljanju cevi je zelo pomembno nastaviti želeno ali ustrezno moč uvaljanja, glede na zahteve izdelka, debelino cevi, premer cevi in cevnih plošč. Moč izračunamo po formulah proizvajalca orodja in njihovega priporočila.



Slika 36: Prikaz cevi pred in po ekspandiranju

Vir: (Krais, 2023)

Izračunamo lahko tudi zmanjšanja debeline stene cevi po uvaljanju. Minimalna debelina cevi je predpisana glede na obremenitve in pritisk znotraj izmenjevalca med obratovanjem.

Formule za izračun zmanjšanja stene cevi:

$$Wt = \frac{(D - d_0) - (H - d_1)}{D - d_0} \times 100$$

$$d_1 = (D - d_0) \times \left(\frac{1 - Wt}{100} \right)$$

Pri tem so:

Wt = skrček stene cevi (%)

H = premer izvrtine v cevni plošči (mm)

d_0 = notranji premer cevi pred uvaljanjem (mm)

d_1 = notranji premer cevi po uvaljanju (mm)

D = zunanji premer cevi pred uvaljanjem (mm)

4.5 Orbitalno varjenje

Orbitalno varjenje je postopek varjenja, ki se izvaja s pomočjo orbitalnega varilnega aparata. Pri tem postopku se elektroda premika okoli zvarnega spoja po orbiti, medtem ko se deli, ki se varijo, ne premikajo. Orbitalno varjenje se običajno uporablja pri varjenju cevi in cevovodov ter drugih sistemov, kjer sta natančnost in enakomerna kakovost zvarov ključnega pomena.

Pri orbitalnem varjenju se elektroda običajno nenehno vrti okoli zvarnega spoja, kar omogoča enakomerno porazdelitev toplote ter s tem dosledno kakovost in trdnost zvara. Uporabljajo se lahko različne vrste elektrod, kot so elektrode TIG, plazemski loki, pulzni električni loki itd.

Prednost orbitalnega varjenja so predvsem visoka natančnost, ponovljivost in doslednost zvarov. Ta postopek omogoča tudi varjenje v težko dostopnih območjih in avtomatizacijo varilnih procesov, kar lahko pripomore k povečanju produktivnosti in zmanjšanju napak.

Orbitalno varjenje se uporablja v različnih panogah, vključno z naftno industrijo, energetiko, farmacevtsko in prehravno industrijo in drugimi, kjer so visokokakovostni zvari ključnega pomena. (Lastni, 2023)

Pri izdelavi toplotnega izmenjevalca orbitalno varjenje uporabljamo predvsem za varjenje cevi v cevno ploščo.

Podjetje izdeluje toplotne izmenjevalce že več kot 10 let, cevi v cevne plošče so varili atestirani varilci ročno s postopkom TIG. Tako varjenje je bilo z razvojem novih tehnologij in zmeraj krajšimi dobavnimi roki ter vse večjo konkurenčnostjo na trgu neproduktivno. Potrebna je bila sprememba na tem področju, kajti kakovost je padala, stroški dela so se zvišali in s tem smo izgubljali konkurenčnost.

Ročno varjenje TIG

Na primeru toplotnega izmenjevalca z 298 cevmi v cevni plošči je en varilec povprečno rabil 15 delovnih ur za varjenje cevi. Po varjenju je izvedena penetrantska kontrola (PT) zvarov, ki je pokazala napake pri 75 zavarjenih ceveh, kar v povprečju znaša 25 %. Iste je treba popraviti in PT-kontrolo ponoviti ter tako ponavljati, dokler ne odpravimo vse indikacije. Za popravilo se je v poprečju porabilo še 5 ur varilnega časa in 3 ure za kontrolo zvarov.

Tabela 12: Čas za ročno varjenje TIG

Število cevi	Čas varjenja	Število popravil	Čas popravila	PT-kontrola	Skupaj čas
298	15 h	75	5 h	3 h	23 h

Vir: (Ecom, d. o. o., 2022)

Na tem področju je bilo treba narediti spremembe glede produktivnosti in kakovosti. V podjetju smo naredili analizo možnih izboljšav in se odločili za nakup orbitalnega varilnega aparata.

Orbitalno varjenje

Z orbitalnim varjenjem smo čas varjenja zmanjšali za polovico in je bilo za varjenje 298 cevi potrebnih 7 ur. Čas varjenja se je povprečno iz 3 minut na cev zmanjšal na okrog 1,5 minute, s tem, da je čas varjenja 0,5 minute na cev, ostalo pa manipulacija z orbitalnim aparatom. Največ smo pridobili pri kakovosti zvara, kajti po PT-kontroli je potrebno popravilo v poprečju na 10 zvarov, kar je 87-odstotno izboljšanje.

Tabela 13: Orbitalno varjenje cevi

Število cevi	Čas varjenja	Število popravil	Čas popravila	PT-kontrola	Skupaj čas
298	7 h	10	0,5 h	1,5 h	9 h

Vir: (Ecom, d. o. o., 2022)

Pri orbitalnem varjenju je treba na preizkusnem kosu nastaviti ustrezne parametre varjenja in narediti kontrolo zvarov. Ko so parametri nastavljeni, se kakovost zvara ne zmanjšuje kot pri ročnem varjenju, kjer je človeški dejavnik zelo odvisen od kakovosti zvara.

S prehodom na orbitalno varjenje smo ugotovili, da je orbitalno varjenje cevni plošč hitrejše in zanesljivejše od klasičnega varjenja s postopkom TIG. Na ta način smo optimizirali proizvodnjo, znižali stroške in zvišali kakovost izdelka

4.6 Obdelava površin

Površine zunaj in znotraj toplotnega izmenjevalca je treba ustrezno obdelati po naročnikovih zahtevah. Pod obdelavo površin mislimo na razne mehanske ali kemične posege, kot so brušenje, poliranje, pasiviranje, luženje ali peskanje. Oznake za mehansko obdelavo površin so nahajajo že na delavniških risbah posameznega sklopa ali celotnega izdelka, v tem primeru toplotnega izmenjevalca. Zahteve za luženje ali peskanje pa se nahajajo v posebni specifikaciji izdelka ali v naročilu izdelave, ki je dodatna zahteva stranke.

V podjetju imamo tako posebne oddelke za izvajanje različnih posegov za obdelavo površin, kot so brusilnica, peskalnica, lakirnica in komora za luženje.

Brušenje in poliranje zavzema največji delež pri obdelavi površin na toplotnem izmenjevalcu. Odvisno od zahtev je treba brusiti vse zvarne spoje, robkati ostre robove ali celo polirati nekatere dele ali celotno notranjost izmenjevalca. Uporabljena orodja pri brušenju in poliranju so večinoma klasična ročna orodja za brušenje, kot so kotni brusilnik, naprave za satiniranje, premi brusilnik in kolutni brusilniki.

Naslednja zelo pomembna obdelava površin je tako imenovano luženje in pasiviranje. Luženje spada v kemično obdelavo površin, kjer z nanosom posebne kisline iz površine nerjavečih jekel odstranimo železove kristale in visokotemperaturne okside, ki nastanejo pri varjenju ali vnosu toplote na površino materiala. Na sliki 37 vidimo nečistoče na izmenjevalcu, ki jih je treba odstraniti.



Slika 37: Izmenjevalec pred luženjem

Vir: (Lastni, 2023)

Po končanem sestavljanju in varjenju toplotnega izmenjevalca, ko ni več nobenih naknadnih opravil in je izmenjevalec dokončan, lahko opravimo luženje in pasiviranje.

Potek postopka luženja in pasiviranja lahko vidimo na shemi spodaj.



Izdelke mažemo s kislino in jo pustimo delovati nekaj časa. Ko kislina odstrani nečistočo s površine materiala, izdelke očistimo in jih pasiviramo.

Pasiviranje je nanos zunanje plasti zaščitnega materiala na površino nerjavečega jekla, ki v skupnem stiku pripelje do kemične reakcije, ki ščiti material pred korozijo. Toplotni izmenjevalec po luženju in pasiviranju lahko vidimo na sliki 38. Opazimo lahko čisti beli material, brez nečistoč in visokotemperaturnih oksidov na površini.



Slika 38: Prikaz po luženju in pasiviranju

Vir: (Lastni, 2023)

5 KONTROLA KAKOVOSTI

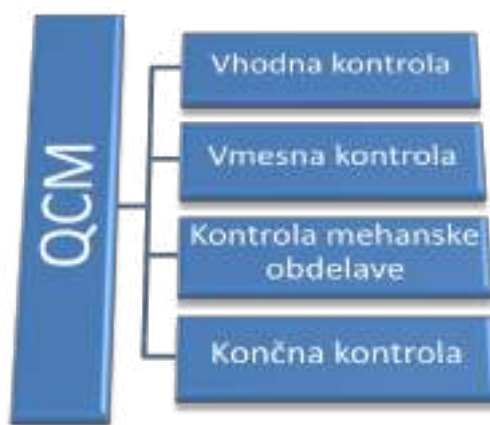
Kakovost lahko opišemo s tradicionalno definicijo, ki pravi, da je kakovost primerna za uporabo. (Academia, 2022)

Kontrola kakovosti pa je proces, ki ga uporabljamo za preverjanje in zagotavljanje kakovosti izdelkov ali storitev. Namen kontrole kakovosti je pravočasno odkrivanje morebitnih napak, nepravilnosti ali pomanjkljivosti v proizvodnem procesu ter ukrepanje za njihovo odpravo. Proces kontrole kakovosti vključuje razne postopke, tehnike in metode, ki jih uporabljamo za analizo, merjenje in spremljanje kakovosti izdelkov. Vsi izdelki ali storitve morajo ustrezati predhodno določenim standardom in zahtevam.

Kontrola kakovosti se običajno izvaja skozi celoten življenjski cikel izdelka, kar pomeni, da kontrolo kakovosti izvajamo od načrtovanja, proizvodnje, uporabe do servisiranja.

Cilj kontrole kakovosti je zagotoviti, da izdelki izpolnjujejo ali celo presegajo pričakovanja in zahteve strank glede kakovosti končnega izdelka. S tem povečamo zadovoljstvo strank, zmanjšamo stroške zaradi reklamacij in krepimo položaj podjetja na trgu. (Lastni, 2023)

V podjetju Ecom Ruše, d. o. o., se zavedamo, da je kontrola kakovosti eden od najpomembnejših oddelkov v proizvodnem procesu, tako za izdelavo kakovostnega izdelka kot za prepoznavnost na svetovnem trgu.



Slika 39: Kontrola kakovosti v podjetju Ecom Ruše, d. o. o.

Vir: (Ecom d.o.o., 2022)

5.1 Kontrola zvarnih spojev

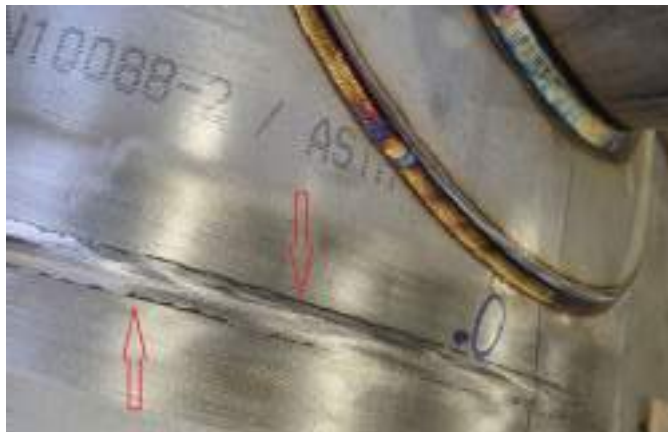
Zvarne spoje pri toplotnem izmenjevalcu kontroliramo večkrat skozi celotni proces izdelave, in sicer izvajamo različne kontrole, kot so:

- vizualne preiskave (VT);
- kontrole s tekočimi penetranti (PT);
- radiografska kontrola (RT);
- ultrazvočna kontrola (UT).

5.1.1 Vizualne preiskave zvarov (VT)

Vizualna kontrola spada med najstarejše kontrole zvarnih spojev, istočasno pa je tudi še vedno najbolj razširjena neporušna metoda kontrole.

Z vizualno metodo dokaj hitro lahko odkrijemo razpoke, nepravilnosti ali večje napake na površini zvara. Zaželeno je, da se vizualna kontrola opravi pred katerokoli drugo kontrolo zaradi ugotavljanja večjih napak pred izvajanjem katere druge cenovno dražje kontrole.



Slika 40: Vizualna kontrola zvarov

Vir: (Lastni, 2023)

Na sliki 40 lahko opazimo razjede zvara, ki smo jih zaznali med vizualno kontrolo in jih je treba odpraviti.

Vizualno kontrolo zvarov izvajamo skozi celoten proces izdelave in na ta način želimo preprečiti velik obseg popravil zvarov v končni fazi proizvodnje.

5.1.2 Kontrola s tekočimi penetranti (PT)

Tekoči penetranti so tekočine, ki imajo sposobnost, da na osnovi kapilarnega efekta prodrejo v diskontinuitete. Ko se penetrant odstrani s površine, preostanek, ki je prodril v diskontinuitete, začne iz njih izhajati na površino. Celotni proces pospešimo še s substanco, ki ji rečemo razvijalec. Izhajanje penetranta na površino zvara imenujemo penetrantska indikacija, ki nam dejansko pokaže napake v zvaru ali materialu. (Dajčman, 2013)

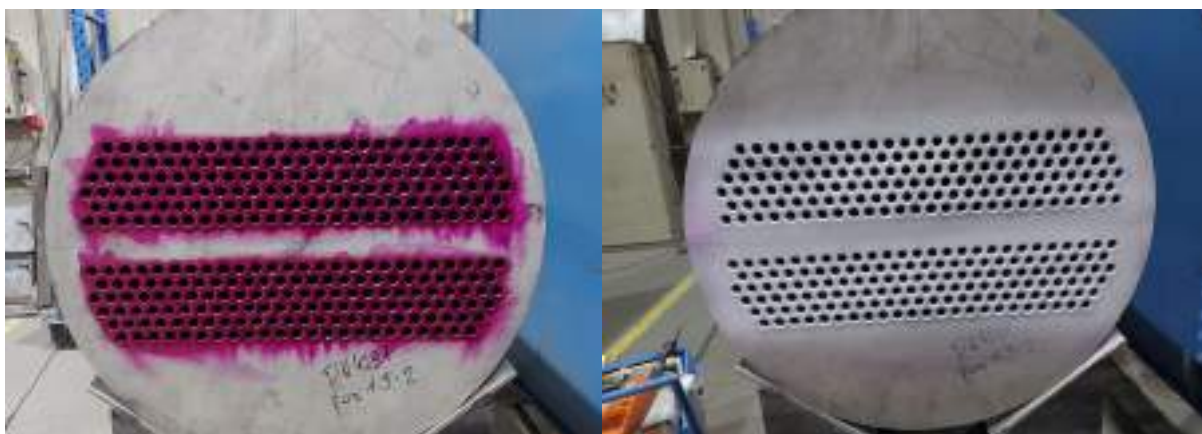


Slika 41: Prikaz metode penetriranja

Vir: (Spletni vir, 2023)

Pri toplotnem izmenjevalcu imamo zahtevano 100-odstotno PT-kontrolo, kar pomeni, da morajo biti vsi zvari na izmenjevalcu penetrirani in brez napak, ki jih prikaže kontrola s tekočimi penetranti.

Slika 42 prikazuje PT-kontrolo cevne plošče izmenjevalca, kjer na levi strani vidimo cevno ploščo z nanesenim penetrantom, desno pa z odstranjenim penetrantom in dodanim razvijalcem. Čez razvijalec bele barve nam v nekaj minutah na površino prodre rdeči penetrant in nam prikaže napake, ki jih je treba popraviti in postopek ponoviti tolikokrat, dokler ni penetracija brez indikacij.



Slika 42: PT-kontrola cevne plošče

Vir: (Lastni, 2023)

5.1.3 Radiografska kontrola (RT)

Radiografska kontrola je najširše uporabljena metoda kontrole notranjih napak pri zvarih in materialih. Z radiografsko kontrolo in pravilnim usmerjanjem žarkov lahko odkrijemo spremembe v materialu in ravninske napake ter lahko merimo debeline materiala.

Pri radiografski kontroli uporabljamo ionizirajoče sevanje, ki ga ustvarjajo X-žarki s pomočjo rentgenske naprave. Preizkušane ali zvar sevarimo z X-žarki, ki se absorbirajo na film, ki je nameščen z druge strani zvara. Film se po sevanju razvija v razvijalcu in v »temni sobi«, kajti treba je paziti, da ne pride v stik z vidno svetlobo, ker film takoj počrni in na ta način uničimo posnetek.

Pri toplotnem izmenjevalcu je zahtevano, da je obseg radiografske kontrole na vseh vzdolžnih in radialnih zvarnih spojih na plašču izmenjevalca 25 %.

Radiografsko kontrolo izvaja zunanji izvajalec s certificirano opremo, v našem primeru Inštitut za varilstvo.



Slika 43: Prikaz območja RT-kontrole

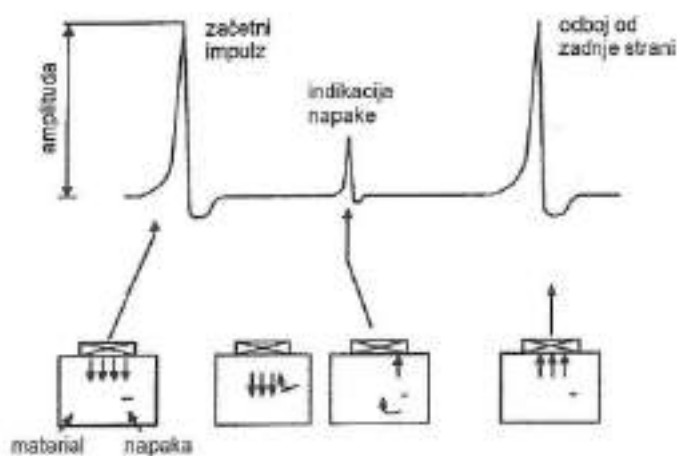
Vir: (Lastni, 2023)

Če posnetek pokaže napake v zvaru, je ta zvar treba brusiti do globine napake in s ponovnim varjenjem po navodilih varilnega tehnologa popraviti napako. Po opravljenem popravilu je treba RT-kontrolo ponovno izvesti in ta cikel ponavljati, dokler ne dosežemo območje zvara brez napake.

5.1.4 Ultrazvočna kontrola (UT)

Ultrazvočna kontrola spada med prostorske preiskave NDT in jo uporabljamo takrat, ko nas zanima notranjost konstrukcij, cevovodov ali ko nas zanima notranjost zvara ali materiala.

Kontrola poteka tako, da s pomočjo visokofrekvenčnih zvočnih valov, ki prehajajo skozi zvar, odkrivamo napake in nepravilnosti v materialu. Valovi se pri prehodu skozi material odbijajo od nepravilnosti in izgubljajo nekaj energije, tiste odbite valove pa sprejme ultrazvok, katerega signal analizira kontrolor pri kontroli (slika 44).



Slika 44: UT-preiskava

Vir: (Kolar, 2014)

UT-preiskavo uporabimo takrat, ko imamo za to zahtevo s strani konstrukcije ali stranke. Pregledujemo pa predvsem debelejše materiale in velike zvarne spoje, ampak jo uporabljamo v zelo redkih primerih, ker zaradi raznih dejavnikov in zahtevnosti izvajanja kontrole ter potrebe po zelo dobro usposobljenem kadru za izvajanje preiskave celoten proces zna biti dolgotrajen in na koncu, če pogoji dela niso idealni, ne dobimo primernih rezultatov.

5.2 Dimenzijska kontrola

Dimenzijska kontrola je zelo pomemben člen v vsakem proizvodnem procesu. Z dimenzijsko kontrolo preverjamo in kontroliramo dimenzije posameznega izdelka in ugotavljamo morebitne nepravilnosti ter jih pravočasno odpravljamo.

Izdelava toplotnega izmenjevalca v procesu proizvodnje zahteva večkratno kontrolo dimenzij pozicij, posameznega sklopa ali celotnega izmenjevalca. Z vmesno kontrolo posameznih pozicij, ter dimenzijsko kontrolo po sestavi, varjenju in mehansko obdelavo ugotavljamo, ali izdelek ustreza zahtevanim standardom izdelave.

Splošne tolerance prostih mer in zahtev so podane na glavni sestavni risbi toplotnega izmenjevalca (tabela 14) ter so izjemno pomembne za izdelavo in dimenzijsko kontrolo. Zahtevanih toleranc in zahtev se je treba držati skozi celoten proces izdelave toplotnega izmenjevalca.

Tabela 14: Splošni izdelovalni podatki

IZDELOVALNI PODATKI / Manufacturing data			
TERMIČNA OBDELAVA PO VARJENJU Post-weld heat treatment		Not required	
PREIZKUS ŽILAVOSTI Impact test		Required in material specifications	
TOLERANCE PROSTIH MER Tolerances	SPLOŠNE TOLERANCE ZA TLAČNO OPREMO General tolerances for pressure vessels		DIN 28005-1
	SPLOŠNE TOLERANCE ZA VARJENE KONSTRUKCIJE General tolerances for welded constr.		ISO 13920-BE
	TOLERANCE STROJNO OBDELANIH DELOV Tolerances for machined parts		ISO 2768-mK
VARILNI POSTOPKI Welding procedures	141, 136	NEOZNAČENI KOTNI ZVARI Fillet welds without dim. 0.7 t min / a min=3mm	

Vir: (ECOM Ruše d.o.o., 2023)

Pri dimenzijski kontroli uporabljamo različne merilne pripomočke, kot so:

- pomično merilo in mikrometre;
- tračni meter;
- kotomer;
- kotnik;
- ravnilo;
- koordinatni merilni stroj;
- 3D-merilna roka.

Pomična merila in mikrometri

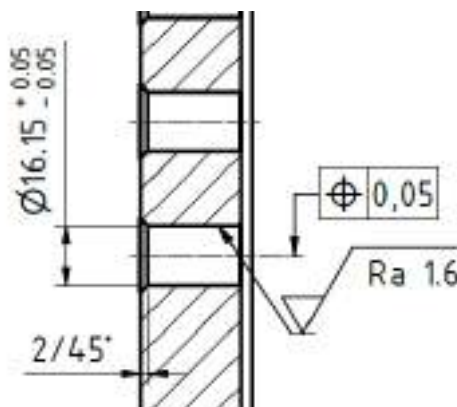
S pomičnim merilom in mikrometri, ki jih prikazuje slika 45, kontroliramo dimenzije na izdelku, kjer so podane ožje tolerance in je zahteva za natančnost večja. Pomično merilo večinoma uporabljamo pri kontroli kosov, ki so bili struženi ali rezkani. V primeru toplotnega izmenjevalca so to čelne prirobnice plašča izmenjevalca in cevne plošče izmenjevalca.



Slika 45: Merilno orodje

Vir: (Lastni, 2023)

Pri struženju in vrtanju cevnih plošč za dimenzijsko kontrolo tako uporabljamo pomično merilo za kontrolo debelin in notranji mikrometer za kontrolo izvrtin plošče. Na sliki 46 imamo prikazano zahtevano toleranco $\pm 0,05$ na izvrtinah $\varnothing 16,15$, ki jo z notranjim mikrometrom lahko izmerimo zelo natančno.

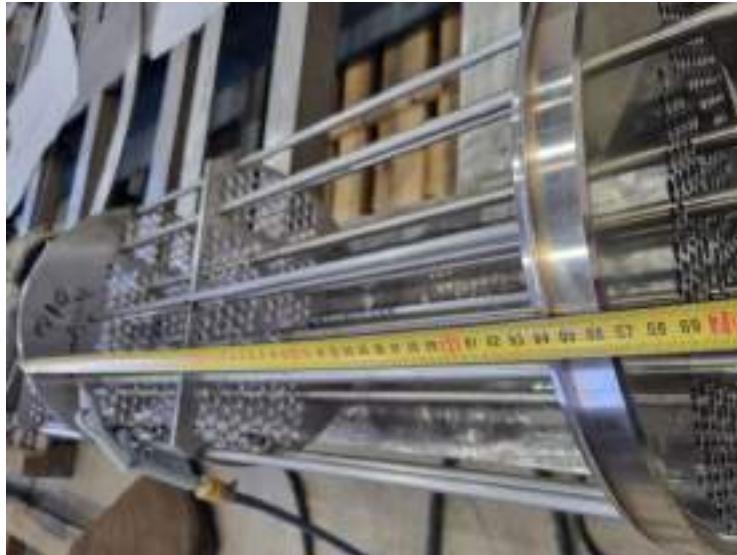


Slika 46: Izvrtine na cevni plošči

Vir: (ECOM Ruše d.o.o., 2023)

Tračni meter

Tračni meter uporabljamo za kontrolo odprtih ključavničarskih dimenzij (slika 47) in obsegov plašča izmenjevalca. S tračnim metrom kontroliramo dolžine cevi pred upogibom ter kontroliramo dimenzije pred in po varjenju izmenjevalca.



Slika 47: Dimenzijska kontrola s tračnim metrom

Vir: (Lastni, 2023)

Tračni meter spada v merila za srednje natančno merjenje, odčitavamo lahko na 1 mm natančno in se uporablja pri odprtih ključavničarskih in večjih mehansko obdelanih dimenzijah brez toleranc in posebnih zahtev.



Slika 48: Tračni meter

Vir: (Spletni vir, 2023)

Kotomer in kotnik

Kotnike in kotomer uporabimo pri kontroli pravokotnosti ali zahtevane kotnosti posameznih pozicij (slika 49). Uporabljamo jih pri kontroli v fazi sestave, pred varjenjem in po njem. Po varjenju so možne deformacije sklopa in je treba vse varjene pozicije tudi naknadno kontrolirati.



Slika 49: Kontrola s kotnikom

Vir: (Lastni, 2023)

Koordinatni merilni stroj in 3D-merilna roka

Dimenzijska kontrola s koordinatnim merilnim strojem in 3D-merilno roko spada med najnatančnejšo dimenzijsko kontrolo izdelkov. Uporabljamo jo večinoma pri končanih, mehansko obdelanih izdelkih, kjer so zahtevane ozke tolerance dolžinskih mer, pravokotnosti, koncentričnosti, paralelnosti površin in drugo. S temi merilnimi napravami lahko prostorsko izmerimo celoten izdelek in kontroliramo dimenzije, ki bi jih s konvencionalnimi metodami zelo težko izmerili.

5.3 Tlačni preizkus

Tlačni preizkus izvajamo za zagotavljanje vodotesnosti in odpornosti materiala na pritisk znotraj posode. Tlačni preizkus v podjetju opravimo z vodo kot medijem, ki jo pnevmatsko polnimo, dokler ne dosežemo zahtevanega tlaka v posodi ali v našem primeru v toplotnem izmenjevalcu.

Pri toplotnem izmenjevalcu opravimo dva tlačna preizkusa, in sicer tlačni preizkus plašča posode in tlačni preizkus cevnega snopa.

Tlačni preizkus se izvaja na koncu proizvodnega procesa izdelave toplotnega izmenjevalca, po končanem varjenju, mehanski obdelavi ter brušenju in obdelavi površin. Po opravljenem tlačnem preizkusu je prepovedano opravljati dela, ki lahko pripeljejo do porušitve lastnosti materiala.

Tlačni preizkus se izvaja v prisotnosti odgovorne osebe, v našem primeru je odgovorna oseba zunanji TUV-inšpektor, ki spremlja postopek izvajanja preizkusa in po končanem preizkusu potrdi uspešno izvajanje tlačnega preizkusa.

Pri konstruiranju in projektiranju izmenjevalca je določen najvišji dovoljeni delovni tlak v posodi in cevnem snopu. Tlačni preizkus opravimo pri 37 in 40 % višjem tlaku, kot je delovni tlak toplotnega izmenjevalca. Tako v tabeli 15 lahko vidimo, da je preizkusni tlak za plašč posode izmenjevalca 8 bar, preizkusni tlak cevnega snopa pa 17 bar.

Tabela 15: Podatki tlačne posode

	Shell side		Tube side	
PRERAČUNSKI TLAK Design pressure	-1/5	bar	-1/10	bar
PRERAČUNSKA TEMPERATURA Design temperature	0/150	°C	0/200	°C
NAJVIŠJI DOVOLJENI DELOVNI TLAK Max. allowable working pressure	5	bar	10	bar
PRI TEMPERATURI At temperature	150	°C	200	°C
NAJVIŠJI DOVOLJENI ZUN. DEL. TLAK Max. all. external working pressure	Full vacuum		Full vacuum	
PRI TEMPERATURI At temperature	150	°C	200	°C
MIN. PRERAČUNSKA TEMPERATURA Min. design metal temperature	0°C at 5 bar		0°C at 10 bar	
PREIZKUSNI TLAK Test pressure	8	bar	17	bar
PROSTORNINA Volume	406	L	148	L

Vir: (ECOM Ruše d.o.o., 2023)

Vir: (Lastni, 2023)

ECOM ECOM Tube & Co. Oil Refining Co., 20-242 Tube			
Type	HERFESCHANDER M12	Empty weight	100 kg
Manufacturer	ECOM Tube & Co., 20-242 Tube	Serial No.	4221-3
Space	Shell	Tube	
Max. allowable pressure PS	-105 bar	-1703 bar	
Allowable temp. min. max. TS	0m36 °C	0000 °C	
Test pressure PT	8 bar	17 bar	
Volume	400 L	148 L	
Medium	Group 2	Group 2	
First test	March 2002	ECOM Project No.	4548

Vir: (Ecom d.o.o., 2022)

6 DIGITALIZACIJA V PROIZVODNJI

V podjetju Ecom Ruše, d. o. o., smo se zaradi nenehnega teženja k znižanju stroškov, konkurenčnosti na trgu ter za lažje spremljanje proizvodnje odločili za uvedbo digitalizacije v proizvodnji.

Največjo težavo pri vsakem podjetju, tako tudi pri nas, povzroča spremljanje zaloge materiala, polizdelkov in končanih izdelkov v katerikoli fazi proizvodnje. Zaradi neustrezno označenih odlagalnih mest v skladišču materiala ali neustrezno označenih končanih polizdelkov v proizvodnji ter slabe komunikacije zaposlenih prihaja do izgube časa in avtomatsko dolgih izdelovalnih ciklov v proizvodnji.

Interne raziskave so pokazale, da veliko proizvodnih podjetij uporablja dokaj preprosto in učinkovito rešitev za spremljanje proizvodnje v obliki črtne kode.

6.1 Črtna koda

Črtna koda, primer katere lahko vidimo na sliki 52, je način zapisa, kjer s številkami in črkami ter črtami in presledki različnih širin zapišemo vse podatke o nekem proizvodu.

Na začetku se je črtna koda uporabljala večinoma v maloprodaji za označevanje izdelkov v trgovinah, danes pa se črtna koda uporablja tudi v logistiki, zdravstvu, transportu, proizvodnji, turizmu in drugih panogah.

Črtna koda omogoča učinkovitejše delo, ker odpravlja človeške napake, omogoča natančen in hitrejši zajem podatkov z embalaž in etiket. (Leoss, brez datuma)



Slika 52: Primer črtne kode

Vir: (Leoss, brez datuma)

6.2 Vpeljava črtne kode v podjetje

Vpeljave črtne kode v podjetje se je treba pravilno lotiti, treba je jasno določiti področje, kjer se napake največ dogajajo, in na tem področju začeti. Pred začetkom vpeljave je treba izdelati seznam vseh izdelkov v skladišču ali izdelkov v proizvodnji s kratkim opisom, dimenzijami in drugimi osnovnimi podatki. Na ta način zmanjšamo čas, ki ga bomo potrebovali pri uvozu začetnih informacij pri uvajanju tehnologije črtne kode.

Uvedba tehnologije črtne kode v podjetje nam omogoča večjo učinkovitost ter zmanjšanje stroškov in prihranek časa v proizvodnji in pri spremljanju izdelkov. Obenem je pa zanesljiva in stroškovno učinkovita.

Pred vpeljavo črtne kode je treba poskrbeti za dobro urejenost proizvodnje, odlagalnih mest in regalov. S tem poskrbimo, da so vsi izdelki po vsaki fazi proizvodnje na za to predvidenem mestu.

Naslednji korak je nabava strojne in programske opreme za tiskanje, odčitavanje in vnašanje podatkov, ki jih bo črtna koda vsebovala.

Računalniški program, ki ga podjetje uporablja za prevzem materiala, potrditve naročila, načrtovanje proizvodnje in izdajanja materiala iz skladišča, ima možnost tudi vzpostavitve povezave s sistemom črtne kode. Tako je treba vložiti sredstva samo v nakup strojne opreme za tiskanje in odčitavanje črtne kode (slika 53).



Slika 53: Primer opreme za odčitavanje in tisk črtne kode

Vir: (Leoss, brez datuma)

6.3 Spremljanje proizvodnje s pomočjo črtne kode

Osnovni namen in cilj uvedbe črtne kode v podjetje je učinkovitejše spremljanje proizvodnje ter zmanjšanje napak in izdelovalnih ciklov.

Namen je odpraviti pomanjkljivosti v spremljanju zalog materiala in izdelanih polizdelkov ter končnih izdelkov v fazi proizvodnje.

Spremljanje proizvodnje bo potekalo tako, da bo za vsak posamezni izdelek ali sklop pozicij izdelana črna koda z vsemi potrebnimi podatki, kot so:

- številka projekta in pozicije;
- dimenzije in material;
- število kosov (končanih/nekončanih);
- zaporedje izdelovalnih operacij;
- odlagalno mesto;
- kontrola kakovosti (ustrezno/neustrezno).

Skladišče dobi zahtevek za izdajo materiala za posamezni projekt, izda material in odčita črtno kodo ter označi pozicije, za katere je bil material izdan. Material potem sledi določenemu vrstnemu redu izdelave ali predelave (rezanje, sestava, varjenje, mehanska obdelava), kjer se po vsaki fazi odčita črna koda, priložena izdelku ali sklopu, ter se opravljene faze označijo in shranijo.

Z odčitavanjem črtne kode na vsakem izdelku v kateremkoli trenutku lahko spremljamo status in opravljene ali neopravljene faze izdelave. Na ta način v vsakem trenutku vemo, v kateri fazi proizvodnje je katerikoli izdelek, kaj je do zdaj narejeno in kaj še je treba narediti za dokončanje izdelka ali polizdelka.

Tako zmanjšamo človeški vpliv z morebitnimi nepravilnimi podatki o statusu posameznih pozicij, dvigujemo preglednost opravljenih del na projektih in znižamo čas, potreben za pridobivanje informacij glede stanja izdelkov in polizdelkov v proizvodnji.

Digitalizacija v obliki uvedbe črtne kode v proizvodnji nam omogoča lažje spremljanje izdelave in zaloge posameznih pozicij v proizvodnem procesu.

7 SKLEP

Skozi celotno diplomsko delo sem poskušal prikazati proces izdelave toplotnega izmenjevalca, ki se uporablja v farmacevtski industriji. Sledil sem postopkom izdelave od samega načrtovanja in konstruiranja izdelka ter specifikacije materiala, skozi izdelavo in varjenje ter na koncu mehansko obdelavo, obdelavo površin in kontrolo kakovosti.

Na začetku sem predstavil podjetje Ecom Ruše, d. o. o., ter proizvodni program podjetja in strojno opremo. Omenil sem tudi standarde in certifikate, ki se jih podjetje drži pri izdelavi različnih konstrukcij in tlačnih posod.

Izdelava toplotnega izmenjevalca je zelo specifičen in dolgotrajen proces, uporabljene so razne izdelovalne tehnologije. Poskušal sem prikazati najpogostejše uporabljene in najpomembnejše pri izdelavi. Tako je velik poudarek na orbitalnem varjenju cevnih plošč, vrtanju in povrtavanju cevnih plošč in kontroli kakovosti. Kot je v diplomskem delu omenjeno, je tudi priprava tehnične dokumentacije zelo pomemben člen v celotni proizvodnji izmenjevalca, kajti brez ustrezno izdelanih navodil, risb in osnovnih dokumentov proizvodnja ne bi bila zmožna izdelati ustreznega in s strani naročnika zahtevanega izdelka.

Pri izdelavi toplotnega izmenjevalca je treba upoštevati vsa pravila in standarde glede pravilnika o tlačnih posodah. Le na ta način lahko izdelamo izdelek, ki je v skladu z zahtevami in je primeren za uporabo. Poudarek je bil tudi pri načrtovanju in konstruiranju toplotnega izmenjevalca, kjer sem prikazal osnovne korake pri konstrukciji, uporabljeno programsko opremo in potek specifikacije materiala.

Potrjena je bila hipoteza H3, in sicer da velikost cevne snopa in število cevi v toplotnem izmenjevalcu vplivata na hitrost segrevanja ali ohlajanja medija v posodi.

V diplomskem delu sem potrdil tudi hipotezo H1, da je orbitalno varjenje cevnih plošč hitrejše in zanesljivejše od klasičnega varjenja. To opazimo po porabljenem času in zahtevanih popravilih zvarov po opravljeni kontroli s tekočimi penetranti. Prehod na orbitalno varjenje ni samo zmanjšal napak pri varjenju, ampak se je zvišala tudi kakovost zvarov in zmanjšal se je čas varjenja. Opisani so bili tudi postopki ročnega varjenja s TIG in MAG ter prednosti in slabosti teh postopkov. Ugotovljeno je bilo, da je postopek MAG hitrejši, postopek TIG pa zanesljivejši in natančnejši.

Tako sem potrdil tudi hipotezo H2, da z optimizacijo CNC mehanske obdelave višamo izkoristek in učinkovitost. Učinkovitost smo dvignili s preходом iz povrtal HSS na hitrorezna povrtala iz karbidne trdine in čase obdelave cevni plosč znižali za 85 %, kar je odličen dosežek. Izbira pravilnega orodja in tehnologije pri mehanski obdelavi lahko precej dvigne produktivnost pri izdelavi in zmanjša obdelovalne čase ter zasedenost stroja. Treba je težiti k temu, da z manj vloženega časa izdelamo več izdelkov.

Opisal sem, kako izvajamo kontrolo kakovosti na toplotnem izmenjevalcu ter predstavil orodja za kontrolo zvarov in orodja za dimenzijsko kontrolo, ki se uporabljajo za ugotavljanje ustreznosti izdelka.

Na koncu diplomskega dela sem se dotaknil tudi digitalizacije v podjetju, kjer si z uvedbo črtne kode poskušamo olajšati sledenje polizdelkom in izdelkom v proizvodnji ter materialu v skladišču. Z uvedbo spremljanja izdelkov s pomočjo črtne kode sem potrdil tudi hipotezo H4, da digitalizacija v proizvodnji omogoča lažje spremljanje zalog materiala in izdelave posameznih pozicij ter nam na ta način pomaga pri dvigovanju učinkovitosti in znižanju časa izdelovalnih ciklov.

8 VIRI IN LITERATURA

- Academia. (2022). *Kakovost in zanesljivost procesov*. Pridobljeno iz Academia: <https://www.academia.si>
- Academia. (2023). *Strojni elementi*. Maribor, Slovenija.
- Arnes. (2022). *Arnes*. Pridobljeno iz Tehnična dokumentacija: <https://www.arnes.si/>
- Brisloy. (2023). *Turning holders*. Pridobljeno iz Brisloy Tools: <https://www.brisloy-tools.com/submenu&id=7>
- Camnicam. (2022). *MasterCam*. Pridobljeno iz Camnicam: <https://camincam.si/mastercam/>
- Dajčman, R. (2013). Diplomsko delo. *Kontrola zvarnih spojev MAG varjenja*. Maribor, Slovenija: Fakulteta za strojništvo.
- Ecom d.o.o. (2022). Interni viri.
- Ecom Ruše d.o.o. (2022). Specifikacija varilnega postopka. Ruše, Slovenija.
- ECOM Ruše d.o.o. (2023). Dokumentacija. Slovenija.
- Ecom.si. (9 2023). <https://www.ecom.si/>.
- Hamler, T. (2008). Diplomsko delo. *Analiza sodobnih postopkov odrezovanja*. Maribor, Slovenija: Fakulteta za strojništvo.
- Iscar IMC. (2023). *Hole making*. Pridobljeno iz Iscar catalog: <https://www.iscar.com/eCatalog/Family.aspx?fnum=3112&mapp=DR&app=77&GFS TYP=M>
- Iscar IMC. (2023). *Reaming*. Pridobljeno iz Iscar catalog: <https://www.iscar.com/eCatalog/Family.aspx?fnum=1927&mapp=RE&app=270&GF STYP=M>
- Kolar, K. (2014). Diplomsko Delo. *Kontrola zvarnih spojev z neporušitvanimi metodami*. Maribor, Slovenija: Fakulteta za strojništvo.
- Kovinc d.o.o. (2021). *TIG varjenje*. Pridobljeno iz Kovinc: www.kovinc.si/wiki/tig-varjenje
- Kovinc d.o.o. (2021). *Mag varjenje*. Pridobljeno iz Kovinc: <https://www.kovinc.si/wiki/mag-varjenje>

- Krais. (2023). *Tube expanders*. Pridobljeno iz Krais: <https://krais.com>
- Kraut, B. (2021). *Krautov strojniški priročnik*. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo.
- lahde. (2023). *Prenosnik toplote ali toplotni izmenjevalec?* Pridobljeno iz Laboratorij za hlajenje in daljinsko energijo: <https://lahde.fs.uni-lj.si/prenosnik-toplote-ali-toplotni-izmenjevalec/>
- Lastni. (2023).
- Leoss. (brez datuma). *Leoss, moč podatkov*. Pridobljeno iz Kaj je črna koda?: https://leoss.si/strokovnjak_svetuje/24/kaj_je_crtna_koda/
- Mazak. (2023). *Quick turn smart*. Pridobljeno iz Mazak: <https://www.mazak.co.id/quick-turn-smart-300/>
- Metalcor. (2023). *Datasheet 1.4571*. Pridobljeno iz Metalcor: <https://www.metalcor.de/en/datenblatt/47/>
- Prebil, I., & Zupan, S. (2011). *Tehnična dokumentacija*. Ljubljana: Stri svetovanje.
- Spletni vir. (2023).
- SQS, profesionalna industrijska oprema. (2022). *Kaj je MAG varjenje*. Pridobljeno iz SQS: <https://www.sqs.si/kaj-je-mig-mag-varjenje-in-kaksne-so-njegove-prednosti/>
- STS Koper. (1998). *Osnovni pojmi v varjenju*. Pridobljeno iz STS Koper: [//dusan.sts.si/zvarni-spoji-v11/](https://dusan.sts.si/zvarni-spoji-v11/)
- Šircelj, D., & Drobnić, A. (2011). *Tehnologija*. Zavod IRC.
- TaeguTech. (2023). *Drilling catalog*. Pridobljeno iz TaeguTech: <https://www.imc-companies.com/>
- Weldinginfo. (2022). *Welding procedure specification*. Pridobljeno iz Weldinginfo: www.weldinginfo.org/welding-certification/welding-procedure-specification-wps