

VIŠJA STROKOVNA ŠOLA ACADEMIA

MARIBOR

**POSTOPEK VARJENJA
VISOKOTRDNOSTNEGA JEKLA S960QL**

Kandidat: Boštjan Klajnšek

Vrsta študija: študent izrednega študija

Študijski program: Strojništvo

Mentor predavatelj: dr. Darko Friščić

Mentor v podjetju: Denis Stajnko, dipl. ing. str.

Lektor: Nastja Klajnšek, mag. slovenistike in rusistike

Maribor, 2018

IZJAVA O AVTORSTVU DIPLOMSKEGA DELA

Podpisani Boštjan Klajnšek sem avtor diplomskega dela z naslovom Postopek varjenja visokotrdnostnega jekla S960QL, ki sem ga napisal pod mentorstvom dr. Friščić Darka.

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 (Ur. l. RS 16/07 – uradno prečiščeno besedilo, 68/08, 110/2013 in 56/2015); (v nadaljevanju ZASP), 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, september 2018

Podpis študenta:

ZAHVALA

To diplomsko delo je nastalo med opravljanjem mojega rednega dela v podjetju Palfinger d.o.o. v času od 01.06.2018 do 20.08.2018.

Posebna zahvala velja mojemu mentorju v podjetju Palfinger d.o.o. Maribor, gospodu Denisu Stajniku, in mentorjema, predavateljema z višje strokovne šole ACADEMIA, dr. Darku Friščiću in Darku Dajčmanu.

Prav tako gre zahvala gospe Nataši Novak in ostalim sodelavcem Instituta za varilstvo Maribor, ki so mi omogočili preizkušanje zvarnih spojev in me podpirali pri posameznih primerih pregleda ter preizkušanja osnovnega materiala na pripravljenih vzorcih.

V nadaljevanju pa se zahvaljujem očetu Martinu Klajnšku, ki me je s svojim znanjem spodbujal in usmerjal, ter mojim puncam, ki so mi dajale energijo in voljo, s pomočjo katerih mi je uspelo diplomsko delo zaključiti.

POVZETEK

Uporaba visoko trdnostnih finožrnatih jekel je v jeklenih konstrukcijah vse več v uporabi. Načrtovanje zvarjencev v skladu z zahtevami naročnikov različnih proizvodov v industriji, prometu, transportu in ostalih panogah gospodarstva, se je z množico možnosti elektronske tehnike poenostavilo, s tem pa tudi omogočilo uporabo novejših tehnološko bolj sprejemljivih materialov. Tako je tudi v proizvodnji žerjavov, avto žerjavov in ostale dvižne tehnike, kjer so finožrnata jekla danes skoraj nepogrešljiva.

V diplomskem delu so predstavljena visokotrdnostna finožrnata jekla, opisan je proces pridobivanja, njihove lastnosti, sposobnost preoblikovanja in izdelava zvarjencev s posebnim procesom varjenja, ki v skladu z določenimi normami zahteva potrjevanje procesov izvajanja. Predstavljena je razlika v teži posameznih materialov, skrajšanju časov izdelave zaradi zahtev po manjših zvarnih spojih in sistem nadzora nad izdelavo zvarjencev s pretežno linearno natezno obremenjenimi zvarnimi spoji. Material, ki je opisan v nalogi, zahteva visoko strokovno znanje s področja preoblikovanja, sestave, spenjanja in varjenja z določenim procesom v zaščiti plina.

Dobra organizacija in urejenost proizvodnje, ustrezna oprema, ustrezno usposobljen kader, stalni nadzor, kontrola, sledljivost skozi proizvodnjo in dokumentiranost posameznih faz dela omogoča potrditev procesa s strani akreditiranih nacionalnih ali mednarodnih inštitucij. S potrdilom – certifikatom pa se kupcem – naročnikom dokazuje sposobnost obvladovanja predelave in izdelave jeklenih konstrukcij iz finožrnatih jekel določenih mehanskih lastnosti.

V diplomskem delu je bilo ugotovljeno, da v primeru uporabe visokotrdnostnega finožrnatega jekla dosežemo različne ekonomske prihranke.

Hkrati pa je bilo ugotovljeno, da uporaba finožrnatih visokotrdnostnih tanjših materialov v določenih primerih ne zadovoljuje zahtev zaradi togosti pozicij pri različnih obremenitvah in dopustnosti standardov za konstruiranje zvarjencev.

Cilj diplomskega dela je zbrati in predstaviti uporabnost visokotrdnostnih finožrnatih jekel v podjetju Palfinger d.o.o., njihovo predelavo, zbrati najbolj ekonomičen proces varjenja in predstaviti potek odobritve varilnega postopka.

Ključne besede: varjenje, finožrnata visokotrdnostna jekla, MAG – varjenje, jeklene konstrukcije, verifikacija postopka varjenja, koncept $t_{8/5}$, S960QL

ZUSAMMENFASSUNG

WELDING PROCESS OF HIGH STRENGTH FINE GRAIN STRUCTURAL STEEL S960QL

Der Einsatz von Hochfesten Feinkornbaustählen wird zunehmend und in verschiedene Stahlkonstruktionen eingesetzt. Planung der Schweißteile nach Anforderungen verschiedener Kunden aus Industrie, Verkehr, Transport und anderer. In der Wirtschaft hat sich mit der Einführung von elektronischen Geräten vieles vereinfacht und ermöglicht Verwendung neuerer Technologien und angepasste Materialien. Gleiches gilt für die Herstellung von Kränen, Autokränen und anderer Hebetchnik, bei denen der Einsatz von feinkörnigem Baustahl heute fast unverzichtbar ist.

In dieser Diplomarbeit ist /sind die hohe Festigkeit der Feinkornstähle präsentiert, beschrieben ist der Prozess der verschiedenen Hersteller, die Eigenschaften, die Fähigkeit der Transformation, die Herstellung der Schweißteile, das Schweißen im speziellen Schweißverfahren in Übereinstimmung mit bestimmten Normen die erfordern dass die Validierungsprozesse umgesetzt werden. Vorgestellt ist Der Unterschied im Gewicht der einzelnen Materialien, die Produktionszeit, aufgrund der Anforderungen an kleine Schweißverbindungen und das verkürzte System der Produktionssteuerung. Das Material, das in der Diplomarbeit beschrieben ist, erfordert ein hohes Maß an Know-how auf dem Gebiet der Umwandlung, Montage, Zusammenbau, Heftung und Schweißung in einem bestimmten Schweißverfahren.

Gute Organisation und Ordnung in der Produktion, geeignete Ausrüstung, ausreichendes geschultes Personal, ständige Überwachung, Kontrolle, Rückverfolgbarkeit durch Produktion und Dokumentation der einzelnen Arbeitsphasen ermöglichen es, den Prozess durch akkreditierte nationale oder internationale Institutionen zu bestätigen.

Mit dem Zertifikat kann man den Kunden die Fähigkeit von Verarbeitung bestätigen und Stahlkonstruktionen verschiedener Arten aus Feinkörnigen Stählen bestimmter mechanischer Eigenschaften zu kontrollieren, Überwachen und Herstellen.

In der Diplomarbeit wurde festgestellt, dass bei Verwendung von hochfestem Feinkornstahl verschiedene wirtschaftliche Einsparungen erreicht werden können.

Gleichzeitig wurde festgestellt, dass die Verwendung von feinkörnigen hochfesten dünneren Materialien in bestimmten Fällen aufgrund der Steifigkeit der Positionen bei unterschiedlichen

Belastungen und der Zulässigkeit von Normen für die Konstruktion von Schweißnähten nicht den Anforderungen entspricht.

Ziel der Diplomarbeit ist es, die Verwendbarkeit von hochfesten Feinkornstählen bei Palfinger d.o.o. zu erfassen und sie zu präsentieren, sie zu bearbeiten, den wirtschaftlichsten Schweißprozess auszuwählen und die Genehmigung für den Schweißprozess vorzustellen.

Stichwort: Schweißen, Feinkornbaustahl, MAG (MSG-Schweißverfahren),

Stahlkonstruktionen, Verfahrensprüfung, Konzept Δt 8/5, S960QL

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	14
1.1	OPIS PODROČJA IN OPREDELITEV PROBLEMA	14
1.2	NAMEN, CILJI IN OSNOVNE TRDITVE	15
1.3	PREDPOSTAVKE IN OMEJITVE.....	15
1.4	UPORABLJENE RAZISKOVALNE METODE	16
2	PREDSTAVITEV FINOZRNATIH JEKEL	17
2.1	PROIZVODNJA POBOLJŠANIH FINOZRNATIH JEKEL.....	17
2.2	DELITEV VISOKOTRDNOSTNIH FINOZRNATIH JEKEL	18
2.3	ZNAČILNOSTI IN UPORABA VISOKOTRDNOSTNIH FINOZRNATIH JEKEL.....	19
2.4	PREDELAVA FINOZRNATIH JEKEL IN POSEBNOSTI PREOBLIKOVANJA.....	27
2.4.1	<i>Termično rezanje pločevin.....</i>	<i>28</i>
2.4.2	<i>Hladno preoblikovanje – upogibanje (kot posebnost preoblikovanja)</i>	<i>34</i>
3	PROCES VARJENJA VISOKOTRDNOSTNIH FINOZRNATIH JEKEL IN POSTOPEK VARJENJA V ZAŠČITNEM PLINU.....	38
3.1	DOVOLJENJA ZA VARJENJE IN POTRDITEV USPOSOBLJENOSTI PODJETJA ZA VARJENJE....	38
3.2	VARILNI POSTOPKI.....	40
3.3	VARJENJE	41
3.4	KONCEPT $\Delta T_{8/5}$	43
3.5	RAČUNSKA DOLOČITEV OHLAJEVALNEGA ČASA $\Delta T_{8/5}$	45
3.6	NADZOR PROCESA IN VNOS TOPLOTE PRI VARJENJU.....	48
3.7	PRINCIP DELOVANJA (MAG) VARJENJA.....	50
3.8	ZAŠČITNI PLIN IN PARAMETRI VARJENJA.....	54
3.9	DODAJNI MATERIALI.....	59
4	VARJENJE IN PREISKUS VZORCA VP0118 P/BK.....	63
4.1	IZBIRA UPORABLJENEGA OSNOVNEGA, DODAJNEGA IN POMOŽNIH MATERIALOV	63
4.2	PRIPRAVA VZORCA VP0118 P/BK.....	63
4.3	SPENJANJE VZORCA VP 0118 P/BK IN PRIPRAVA ZA VARJENJE	64
4.4	VARJENJE VZORCA VP 0118 P/BK	65
4.5	PREISKAVE NA ZAVARJENEM VZORCU VP 0118 P/BK.....	67

4.5.1	Natezni preizkus.....	69
4.5.2	Upogibni preizkus.....	71
4.5.3	Preizkus žilavosti z zarezo po Charpyju.....	73
4.5.4	Makroskopska preiskava – Makro obrus.....	77
4.5.5	Merjenje trdote po Vickersu HV10.....	77
4.5.6	Povzetek rezultatov preizkušanja.....	79
5	SKLEP	80
6	VIRI, LITERATURA.....	83
7	PRILOGE.....	87

KAZALO SLIK

SLIKA 1:	SHEMATSKI PRIKAZ POTEKA PROIZVODNJE FINOZRNATEGA JEKLA.....	17
SLIKA 2:	RAZVOJ FINOZRNATIH JEKEL	19
SLIKA 3:	PRIMERJAVA UPORABE MATERIALA S235 IN VISOKOTRDNOSTNEGA FINOZRNATEGA S960QL.....	25
SLIKA 4:	PRIKAZ PODROČJA UPORABE FINOZRNATIH VISOKOTRDNOSTNIH MATERIALOV S960QL	26
SLIKA 5:	PRIMER OZNAKE KAKOVOSTI POVRŠINE REZANJA	28
SLIKA 6:	PRIMER ZAREZ NA POVRŠINI REZA ZARADI NEČISTOČ.....	29
SLIKA 7:	PRAVOKOTNI REZ PLOČEVINE	30
SLIKA 8:	HEMA UPOGIBNEGA PROCESA PRED (LEVA SKICA) IN PO (DESA SKICA) UPOGIBANJU	35
SLIKA 9:	DOVOLJENI SPLOŠNI POLMERI ZA UPOGIBANJE DO 90 ° GLEDE NA DOBAVITELJE PLOČEVIN.....	36
SLIKA 10:	ZGRADBA SOČELNEGA ZVARA Z VEČVARKOVNO TEHNIKO VARJENJA	42
SLIKA 11:	MAKRO OBRUS VZORCA DEBELINE 15 MM.....	43
SLIKA 12:	DIAGRAM – VNOS TOPLOTE PRI SOČELNIH ZAVRIH	44
SLIKA 13:	DIAGRAM PREDGREVANJA GLEDE NA % CET IN DEBELINO PLOČEVINE	49
SLIKA 14:	PRINCIP DELOVANJA MAG VARILNEGA POSTOPKA Z OPISOM POSAMEZNIH ENOT	51
SLIKA 15:	TOPLOTNI UČINEK	51
SLIKA 16:	MAGNETNI UČINEK	52

SLIKA 17: DIAGRAM DOLOČITVE PRETOKA ZAŠČITNEGA PLINA.....	56
SLIKA 18: SKICA PRIPRAVE SESTAVNIH ELEMENTOV VZORCA VP 0118 P/BK.....	64
SLIKA 19: SKICA PRIPRAVE VZORCA ZA VARJENJE.....	64
SLIKA 20: SKICA ZASNOVE SPOJA IN ZAPOREDJA VARJENJA.....	66
SLIKA 21: SLIKA ZAVARJENEGA VZORCA	67
SLIKA 22: PODROČJA PRIPRAVE VZORCEV ZA PREIZKUŠANJE	68
SLIKA 23: SKICA IZVEDBE VZORCA ZA NATEZNI PREIZKUS	69
SLIKA 24: VZORCA NATEZNEGA PREIZKUŠANJA PO TESTIRANJU.....	70
SLIKA 25: VPENJALNE ČELJUSTI UNIVERZALNEGA STROJA ZA NATEZNE PREIZKUSE, NA KATEREM JE BIL PREIZKUS OPRAVLJEN	70
SLIKA 26: BOČNI UPOGIBNI PREIZKUS ČEZ SOČELNI ZVAR	71
SLIKA 27: SHEMATSKI PRIKAZ PRIPRAVE IN BOČNEGA UPOGIBANJA VZORCA SOČELNEGA ZVARA	73
SLIKA 28: UPOGNJENI VZORCI PO PREIZKUŠANJU	73
SLIKA 29: SKICA LOKACIJE VZORCEV ZA PREIZKUS ŽILAVOSTI V1- 3.....	74
SLIKA 30: SKICA LOKACIJE VZORCEV ZA PREIZKUS ŽILAVOSTI V4- 6.....	74
SLIKA 31: SHEMA VZORCA Z V-ZAREZO ZA UDARNO ŽILAVOST	75
SLIKA 32: SHEMA PODPORE NA STROJU ZA PREIZKUŠANJE UDARNE ŽILAVOSTI	76
SLIKA 33: SHEMA CHARPY UDARNEGA KLADIVA	76
SLIKA 34: SHEMA PRIPRAVE VZORCA ZA MAKROSKOPSKO PREISKAVO PO STANDARDU	77
SLIKA 35: FOTOGRAFIJA MAKROSKOPSE PREISKAVE OBRUSA EN ISO 17639 – A –E – 22.2 – 22.2 / NITAL	77
SLIKA 36: SKICA PODROČJA ZA IZVEDBE MERITEV TRDOTE PO STANDARDU	78
SLIKA 37: FOTOGRAFIJA OBRUSA S PRIKAZANIMI MESTI PREIZKUŠANJA.....	78

KAZALO TABEL

TABELA 1: NAZIVI ENAKIH MATERIALOV Z NATEZNO TRDNOSTJO OD 690–1100 N/MM ² RAZLIČNIH PROIZVAJALCEV	20
TABELA 2: RAZPOLOŽLJIVE DIMENZIJE PLOČEVIN IZ VISOKOTRDNOSTNIH JEKEL NA TRŽIŠČU ...	21
TABELA 3: KEMIJSKA SESTAVA RAZLIČNIH VISOKOTRDNOSTNIH JEKEL	22
TABELA 4: PRIMERJAVA VSEBNOSTI LEGIRNIH ELEMENTOV V MATERIALU S690QL RAZLIČNIH PROIZVAJALCEV	23

TABELA 5: MEJNE VREDNOSTI MEHANSKIH LASTNOSTI POBOLJŠANIH MATERIALOV RAZLIČNIH PROIZVAJALCEV	24
TABELA 6: MEJNE VREDNOSTI MEHANSKIH LASTNOSTI POBOLJŠANIH MATERIALOV PO ZAHTEVAH STANDARDA SIST EN 10025-6:2005+A1:2009	24
TABELA 7: MOŽNOST PRIHRANKOV PRI UPORABI VISOKOTRDNOSTNIH JEKEL	25
TABELA 8: KAKOVOST REZANJA IN REZALNIH POVRŠIN	29
TABELA 9: KOTNOST REZANJA PLOČEVINE	30
TABELA 10: SREDNJA VREDNOST HRAPAVOSTI.....	30
TABELA 11: TOLERANCE KONČNIH MER	31
TABELA 12: PRIPOROČENI NAJMANJŠI POLMERI PRI UPOGIBANJU	34
TABELA 13: PRIPOROČENI POLMERI UPOGIBANJA 90 ° ZA VISOKOTRDNOSTNA JEKLA	35
TABELA 14: VREDNOST TOPLOTNEGA IZKORISTKA PRI RAZLIČNIH POSTOPKIH VARJENJA	46
TABELA 15: VPLIV OBLIKE ZVARA NA ČAS OHLAJANJA $\Delta T_{8/5}$	47
TABELA 16: NAPAKE ZARADI POMANJKANJA ZAŠČITNEGA PLINA.....	53
TABELA 17: NAPAKE ZVARNIH ZLEPOV	53
TABELA 18: NAPAKE ZARADI DRŽE GORILNIKA.....	54
TABELA 19: MEŠANICE ZAŠČITNIH PLINOV PO EN ISO 14175:2008 (D)	55
TABELA 20: VRSTE VARILNIH OBLOKOV	57
TABELA 21: VPLIV ZAŠČITNEGA PLINA NA KAKOVOST ZVARA PRI MAG POSTOPKU VARJENJA NELEGIRANIH JEKEL.....	58
TABELA 22: VPLIV PREMERA DODAJNEGA MATERIALA IN VARILNIH PARAMETROV NA VRSTO OBLOKA	59
TABELA 23: VRSTE DODAJNIH MATERIALOV ZA MAG VARJENJE	60
TABELA 24: VRSTE POLNIL ZA POLNJENO ŽICO IN SIMBOLI.....	61
TABELA 25: TABELA PREDGREVANJA OSNOVNEGA MATERIALA	66
TABELA 26: DIMENZIJE VZORCEV ZA UPOGIBNI PREIZKUS.....	71

OKRAJŠAVE IN KRATICE

	Vrednost	Pomen
A	[%]	raztezek pri pretrganju osnovnega materiala (duktilnost)
Ar		argon
b	[mm]	širina vzorca za upogibni preizkus
BF		Oddelek za preobdelavo materiala in pripravo pozicij v podjetju (nem. Blechfertigung)
CEN		Evropski komite za standardizacijo
CET	[%]	Ogljikov ekvivalent
CO₂		ogljikov dioksid
d	[mm]	premer upogibnega trna pri upogibnem preizkusu vzorca
DAST		Nemški odbor za varjene konstrukcije (nem. Deutscher Ausschuß für Stahlbau)
DB		Nemške železnice (nem. Deutsche Bahn)
Δt_{8/5}	[s]	čas, ki je potreben pri ohlajevanju zvara med 800 in 500 °C
DVS		(Deutscher verband für schweisstechnik) Nemško združenje za varjenje
EN		Evropski standard
EXC		stopnja sprejemljivosti varjenih konstrukcij
F1 in F2		oznake preizkušanca za natezno trdnost zavarjenega vzorca
HV10		meritev trdote po Vickersu
I	[A]	tok
ISO		mednarodna organizacija za standardizacijo
ISO-V		oblika zareze »V« za izvajanje testiranja udarne žilavosti materiala po Charpyju
KV	[J]	energija ob prelomu pri testiranju žilavosti materiala

L_t	[mm]	dolžina vzorca za upogibni preizkus
MAG		varjenje v aktivnem zaščitnem plinu
MAG-C		varjenje v aktivnem zaščitnem plinu CO ₂
MAG-M		varjenje v aktivni zaščiti mešanice plina Ar + CO ₂
MIG		Metal Inert gas – varjenje z inertnim zaščitnim plinom
MT		magnetna preiskava (ang. Magnetic Testing)
M 20		mešanica zaščitnega plina za varjenje (10 % CO ₂ + 90 % Ar)
M 21		mešanica zaščitnega plina za varjenje (18 % CO ₂ + 82 % Ar)
NDT		neporušitvene preiskave (ang. Non Destructive Testing)
O₂		kisik
PG		položaj varjenja navpično na steni – navzdol
PNORM		interni standardi podjetja PALFINGER d.o.o.
PT		preiskava s penetranti
pWPS		predhodno navodilo za varjenje (ang. Preliminary Welding Procedure Specification)
r	[mm]	polmer posnetih robov vzorca za upogibni preizkus
R_{eH}	[N/mm ²]	meja tečenja – meja plastičnosti jeklenih materialov
REO		ročno elektroobločno varjenje z oplaščeno elektrodo
R_m	[N/mm ²]	meja natezne trdnosti jeklenih materialov
RT		radiografska preiskava
SIST		Slovenski inštitut za standardizacijo
t_s	[mm]	debelina vzorca za upogibni preizkus
TR		tehnično poročilo (ang. Technical Report)
TÜV		Tehnični nadzorni inštitut (nem. Technischer Überwachungsverein)
TVP		toplotno vplivno področje

U	[V]	napetost
UP		varjenje v zaščiti praška
UT		ultrazvočna preiskava
V1 do 6		oznaka preizkusnih vzorcev
VT		vizualna preiskava (ang. Visual Testing)
WPQR		poročilo verifikacijskega postopka (ang. Welding Procedure Qualification Report)
WPS		navodilo za varjenje (ang. Welding Procedure Specification)

1 UVOD

Podjetje Palfinger d.o.o. je eno od vodilnih podjetij za gradnjo avtomobilskih in specialnih zglobnih hidravličnih dvigal za potrebe cestnih, ladijskih, železniških in specialnih dvigal za montažo vetrnih elektrarn. Vsa dvigala so grajena na osnovi zakonskih predpisov in standardov iz danes že skoraj 90-odstotnih visokotrdnostnih finozrnatih jekel (v nadaljevanju »finozrnatih jekel«). V tem je tudi prednost tehnološkega preoblikovanja materiala, zmanjšanja števila zvarnih spojev in teže posameznega produkta – zvarjenca ter sposobnosti hladnega preoblikovanja posameznih elementov in vgradnje le-teh v proizvode različnih tipov dvigal.

Ob zmanjševanju debelin posameznih vgradnih elementov je omogočena vgradnja večjega števila posameznih teleskopskih ročic in s tem doseganje večjih višin dvigov ob zanemarljivem padcu stabilnosti.

Uporaba tanjših in lažjih materialov nam prinaša tudi druge pozitivne rezultate, kot je zmanjšanje velikosti zvarnih spojev, in s tem nižje stroške celotnega procesa izvajanja varilskih del.

Predpostavka za zmanjšanje debelin pločevine je občuten dvig natezne trdnosti uporabljenih materialov. Skozi neprekinjen prednostni razvoj proizvajalci lahko normalna konstrukcijska jekla pripeljejo do nivoja visokotrdnostnih, termo-mehansko obdelanih jekel z garantirano visoko mejo tečenja $960 \text{ [N/mm}^2\text{]}$ (danes že tudi do $1300 \text{ [N/mm}^2\text{]}$) in visoko sposobnostjo spajanja z različnimi varilnimi procesi.

1.1 Opis področja in opredelitev problema

V diplomskem delu se na osnovi študija in pregleda strokovne literature zbere in predstavi finozrnata visokotrdnostna jekla kot pomemben gradnik v kovinsko predelovalni industriji ter predstavi potrditev postopka varjenja finozrnatih jekel s strani akreditirane inštitucije.

Z uporabo finozrnatih jekel se zmanjša masa konstrukcije pri enakih mehanskih lastnostih in enaki nosilnosti ali se le-ta celo izboljša.

V podjetju Palfinger d.o.o. se pri izdelavi dvigal že dolgo uporabljajo finozrnata jekla z mejo tečenja do $690 \text{ [N/mm}^2\text{]}$. Za posebne zahteve naročnikov ladijskih in nekaterih drugih dvigal pa zadnje čase tudi materiali z mejo tečenja $960 \text{ [N/mm}^2\text{]}$ in več.

Dolgoletna praksa je pokazala, da ob upoštevanju določenih tehničnih pravil obstaja možnost gospodarne uporabe takih materialov brez večjih odstopanj.

Za izvajanje varilsko tehničnih aktivnosti v podjetju obstajajo interna navodila za predelavo, pripravo in varjenje (interne norme podjetja Palfinger d.o.o. »PNORM«). Uporaba teh materialov v serijski proizvodnji dokazuje stanje nivoja tehničnih sposobnosti podjetja.

Zaradi povečanja uporabe teh materialov je delo osredotočeno prav na material S960Q in S960QL, ki je izdelan po standardu SIST EN 10025-6:2005+A1:2009: Vroče valjani izdelki iz konstrukcijskih jekel – 6. del: Tehnični dobavni pogoji za ploščate izdelke iz konstrukcijskih jekel z veliko plastično trdnostjo v kaljenem in popuščnem stanju.

1.2 Namen, cilji in osnovne trditve

Cilj diplomskega dela je zbrati in predstaviti uporabnost visokotrdnostnih finoizrnatih jekel v podjetju Palfinger d.o.o., njihovo predelavo in sposobnost varjenja. Ker je postopek varjenja širok in nenehno spreminjajoč pojem, je vsebina dela osredotočena na postopek varjenja v zaščiti aktivnega plina – MAG, ki je v nadaljevanju podrobneje opisan.

Namen tega dela je zagotovitev izboljšanja izvajanja posameznih faz dela v proizvodnji ter predstavitev postopka varjenja finoizrnatih jekel v zaščiti plina kot najbolj ekonomičen in delavcu prijazen postopek izvajanja dela. Zaradi boljšega razumevanja in poznavanja obnašanja materialov v predelavi je omogočen lažji nadzor izvajanja posameznih procesov in dokumentiranja eventualno nastalih odstopanj in s tem višanje kakovosti proizvodov in še več zadovoljnih kupcev.

1.3 Predpostavke in omejitve

Med nastajanjem diplomskega dela se pojavijo omejitve, ki se nanašajo na podatke, ki so poslovna skrivnost podjetja Palfinger proizvodnja d.o.o. Zaradi tega se podatki navedejo v obliki razmerij v primerih primerjave med posameznimi vrednostmi. Prav tako so se pojavile omejitve predvsem v raziskovalnem delu diplomskega dela, natančneje pri fazi izbire varilnega postopka, dodatnega materiala in uporabe vrste plina, kar je v podjetju pogojeno z ustaljeno proizvodno prakso in soodvisno od nje tudi uporabljena oprema za uresničevanje te prakse.

1.4 Uporabljene raziskovalne metode

V diplomskem delu so uporabljene naslednje metode raziskovanja:

- Metoda deskripcija ali opisovanja za prikazovanje uporabe visoko trdnostnih jekel v praksi, kot predelave, priprave posameznih delov in spajanja tovrstnih materialov
- Metoda kompilacije (pridobivanje spoznanj in stališč iz strokovne literature različnih avtorjev), za pridobitev rezultatov preiskav varilnega vzorca
- Metoda komparacije oziroma primerjava dejstev o uporabnosti visoko trdnostnega jekla S960QL v primerjavi z drugimi nižje kakovostnimi konstrukcijskimi jekli

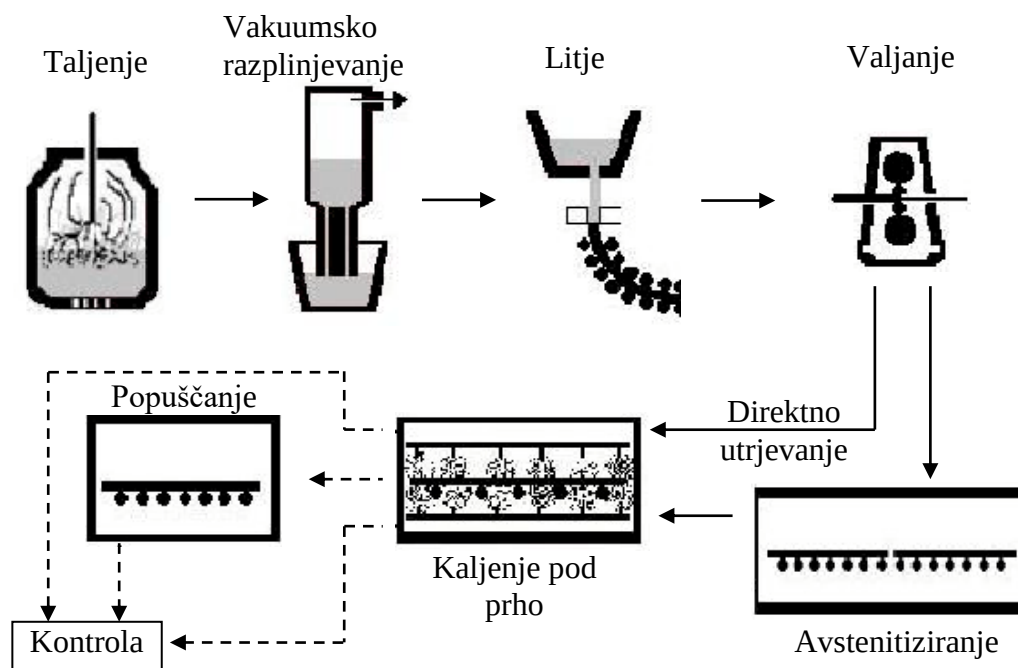
Pri oblikovanju teoretičnega dela se uporabi sekundarne vire podatkov (domačo in tujo literaturo ter vire s tega področja)

Pri oblikovanju praktičnega dela se uporabijo podatki iz podjetja Palfinger proizvodnja d.o.o., tehničnih listov proizvajalcev jekla in Inštituta za varilstvo.

2 PREDSTAVITEV FINOZRNATIH JEKEL

2.1 *Proizvodnja poboljšanih finozrnatih jekel*

Posamezni koraki proizvodnje poboljšanih finozrnatih jekel so vidni na spodnji sliki (Slika 1). V sami proizvodnji in lastnostih normaliziranih in termo-mehansko valjanih pločevin ni nekih velikih sprememb, saj na splošno uporabo ne bi imele pomembnega vpliva. Z razvojem novih tehnologij predelave, obdelave in uporabe teh materialov v zvarjencih so za določene aplikacije nujno potrebni določeni dodatki legirnih elementov ali procesov proizvodnje, ki nam omogočajo uporabo pri še nižjih temperaturah in večje možnosti hladnega preoblikovanja. Tako nam za upogibanje posameznih elementov po standardu opisanih radiusov upogibov prečno/vzdolžno omogočajo manjše radiuse brez nastalih mikro razpok. Prednost takih izboljšav pa je tudi v samem varjenju, saj se zaradi kemijske sestave spreminja CE-ekvivalent in takih materialov pred varjenjem ni potrebno predgrevati, kar pa nam v samem procesu varjenja prinaša kar nekaj časovnega prihranka.



Slika 1: Shematski prikaz poteka proizvodnje finozrnatega jekla

Vir: (Thyssen Krupp Stahl AG, 2005)

Proizvodnja grobozrnatega jekla se prične v talilnem loncu, kjer so že vnaprej znane metalurške zahteve in talilni postopki. Ob koncu taljenja je za finozrnata jekla pomembno znižanje vsebnosti žvepla (S) in fosforja (P), saj elementa pri varjenju povzročata nagnjenost h krhkemu

lomu in razpokam v vročem. Dodajanje legirnih elementov omogoča, da se lahko nadzira naknadna mikrostruktura jekla.

Z vakuumskim razplinjevanjem taline se zagamči nizka vsebnost vodika in nizke gostote plinskih vključkov. Postopek se nadaljuje z običajnim kontinuiranim litjem. Za tem pa sledi valjanje jekla na željeno debelino. Posledica valjanja je zgostitev mikrostrukture jekla z rekristalizacijo.

Po valjanju se lahko nadaljuje proces direktnega utrjevanja pri temperaturi valjanja. Pri tem se pločevina s kaljenjem pod prho v manj kot 50 sekundah ohladi s tako imenovane litine, ki ima temperaturo cca 900 °C (področje avstenita), na sobno temperaturo.

Druga metoda utrjevanja je segrevanje plošč po valjanju na temperaturo avstenitiziranja, če je predhodna faza valjanja opravljena pri nižji temperaturi.

Tudi tukaj pride do drobne strukture materiala po rekristalizaciji, sledi kaljenje pod prho.

Po utrjevanju sledi poboljšanje s popuščanjem. Z višino temperature popuščanja se določa trdota materiala in s tem razmerje med trdnostjo in žilavostjo (Thyssen Krupp Stahl AG, 2005).

Zaradi procesa izdelave lahko pride do različnih mehanskih lastnosti posameznih plošč pri izdelavi pločevin. Da bi naročnik – uporabnik bil seznanjen z dejanskimi tehnično-tehnološkimi podatki je pri vseh proizvajalcih uveden poseben sistem zagotavljanja kakovosti in označevanja zaradi lastne in uporabniške varnosti. Vsaka pločevina k standardni oznaki kvalitete, dimenzij in smeri valjanja dobi še obvezno oznako številke šarže in plošče. Ob izstavitvi certifikata vse to dokumentira.

Le tako označevanje uporabnikom omogoča natančno sledljivost vgradnje posameznih elementov v zvarjenje.

2.2 Delitev visokotrdnostnih finoizrnatih jekel

Delitev finoizrnatih jekel je odvisna od vrste proizvodnje in njihove tehnološke obdelave. Tako jih lahko razdelimo v tri osnovne skupine, določene v standardu SIST EN 10025 del 1–6:

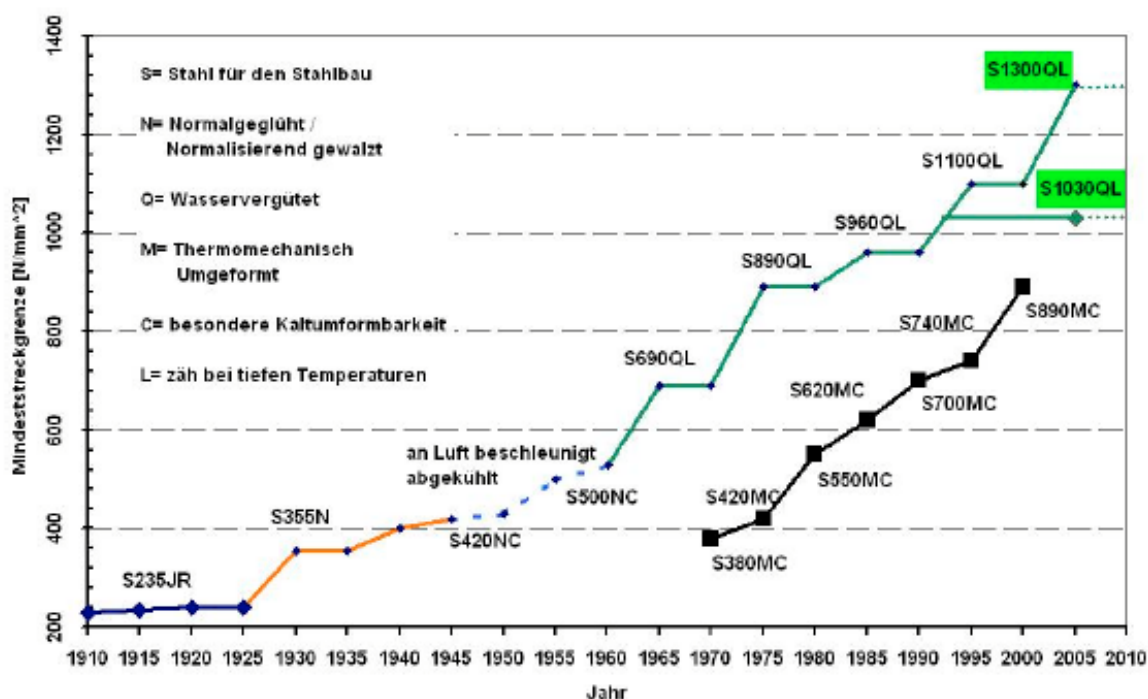
- I normalizirana, valjana in mikrolegirana jekla – oznaka **N**,
- II trmomehansko valjana – oznaka **M** in
- III poboljšanja – oznaka **Q**.

K temu je potrebno dodati še z neprestanim razvojem dosežene izboljšane mehanske lastnosti posameznih materialov, ki omogočajo še večji razpon uporabnosti in lažjo izbiro načrtovalcem konstrukcij. To pa so:

Materiali z oznako »C« – namenjeni in sposobni za hladno preoblikovanje in

Materiali z oznako »L« – sposobnost visoke žilavosti pri nizkih temperaturah.

Skozi nenehne izboljšave metod legiranja in tehnik valjanja pri proizvajalcih so se v prejšnjem desetletju mehanske lastnosti materialov, kot sta meja tečenja (R_{eH}) in natezna trdnost (R_M), teh materialov močno povečale. Nekaj primerov razvoja pri proizvodnji finoizrnatih jekel lahko vidimo pri različnih proizvajalcih na njihovih internetnih straneh in podatkovnih listih. Prikaz razvoja finoizrnatih materialov do leta 2000 lahko vidimo tudi na spodnji sliki (Slika 2).



Slika 2: Razvoj finoizrnatih jekel

Vir: (Lasten vir, 2004)

2.3 Značilnosti in uporaba visokotrdnostnih finoizrnatih jekel

Značilnost visokotrdnostnih finoizrnatih jekel je predvsem v njihovih sposobnostih žilavosti pri nizkih temperaturah tudi do $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pri teh materialih ostanejo fina zrna v procesu ohlajevanja taline s pomočjo vsebnosti legirnih elementov (Al, V, Ti, Nb) zaprta v kristalni mreži. Zaradi

finega (drobnega) zrna imajo ta jekla višjo mejo plastičnosti, prehod materiala iz povečane žilavosti v krhki lom pa pri zelo nizkih temperaturah.

Razvoj in tehnologija izdelave takih materialov sta v tehniki gradnje jeklenih konstrukcij, torej močno povezana predvsem v izdelavi pločevine in profilov z visoko mejo plastičnosti (danes že do 1300 [N/mm²]). Tudi kar se tiče debeline pločevin so od nekdanjih najtanjših 8-milimetrskih danes na trgu že pločevine iz finoizrnatih materialov z debelino, manjšo celo od 2 mm, kar je seveda odvisno od sposobnosti proizvajalca, povpraševanja in količin.

Zaradi zgoraj omenjenega je razvoj teh materialov še kako dobrodošel pri gradnji avtodvigal in žerjavov pa tudi drugih vrst konstrukcij.

Prav pri izdelavi in konstruiranju posameznih elementov pri gradnji avtodvigal so še posebej dobrodošli, saj so posamezni visoko obremenjeni deli izdelani iz finoizrnatih jekel.

Uporaba teh materialov pa zahteva visoko znanje s področja predelave in obdelave materialov, ki vključuje tudi zahtevane sisteme sledljivosti in zagotavljanja kakovosti proizvodnje.

Nekaj primerov označevanja in poimenovanja materialov pri različnih proizvajalcih visokotrdnostnih finoizrnatih jekel z mejo tečenja 690–1100 [N/mm²] se lahko vidi v naslednji tabeli.

Tabela 1: Nazivi enakih materialov z natezno trdnostjo od 690–1100 N/mm² različnih proizvajalcev

Proizvajalec	Naziv materiala
Thyssen-Krupp Steel	NAXTRA M700 / XABO 890/ XABO 960/ XABO 1100/
Dillinger Hütte	DILLMAX 690 / 890 / 965
Ilseburger grobblech	MAXIL 690 / 890 / 960
SIJ ACRONI	SIMAXX 700 / 900 / 1000
Voestalpine	ALFORM 620 – 1100 X-TREME
Industeel (Arcelor Mittal)	ARMSTRONG ULTRA 690 / 960 / 110
SSAB	STRENX 700 / 900 / 960 / 1100

Vir: (UNIONSTAHL, 2018; SIJ ACRONI, 2018)

Na trgu se lahko odvisno od količin naročila naroča tudi dimenzije, ki tehnološko pokrivajo dimenzije posameznih elementov proizvodnje.

Tako se lahko naroči pločevine z debelino 3–250 mm, širino 500–3500 mm in dolžino do sposobnosti normalnega transporta (3000–14000 mm) ali celo čez, odvisno od zahtev in potreb kupca.

Tabela 2: Razpoložljive dimenzije pločevin iz visokotrdnostnih jekel na tržišču

Označitev po EN 10025	Številka Materiala po EN 10027	Debelina [mm]	Širina [mm]	Dolžina [mm]
S690QL/QL1	1.8928/1.8988	3–250	1000–3500	do 14000
ALFORM 700M		8–60	1000–3000	do 12000
SIMAXX 700		8–100	1000–2500	do 12000
S960QL	1.8933	4–120	1000–3000	do 12000
ALFORM 960 X-TREME		4–8	900–1600	do 12000
STREX 960 PLUS		2–7	1600	do 16000
SIMAXX 1000		8–60	1000–2500	do 12000
S1100QL	1.8942	4–15	1000–2500	do 12000

Vir: (Hochfeste Stähle - Visokotrdnostna jekla, 2018; SIJ ACRONI, 2018; VOESTALPINE STAHL GmbH, 2018; SSAB, 2017)

Primerjava kemične sestave materiala za preskušanje uporabljenih materialov se lahko opravi po materialnih listih različnih proizvajalcev (Tabela 3) in dobavnih listih – certifikatih dobavljenih materialov (Tabela 4).

Kot je prikazano, materiali z višjo mejo tečenja kot 960 N/mm^2 niso v področju standarda. Njihove vrednosti so podane v podatkovnih listih posameznih proizvajalcev in dokazilih o kakovosti po SIST EN 10204:2004: Kovinski izdelki – Vrste certifikatov kontrole.

Tako se loči standardno in nestandardno področje proizvodnje finoizdelanih jekel.

Vidi se, da je vsebnost legirnih elementov predstavljenih materialov pod ali nad mejo predstavljenih največjih vrednosti.

Tabela 3: Kemijska sestava različnih visokotrdnostnih jekel

Naziv	Oznaka po EN10025	Številka materiala po EN10027	Debelina [mm]	Elemente – Anteil - Gewicht [%] max.									
				C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	B	V
NAXTRA M700	S690QL	1.8928	3–120	0,2	-	1,6	0,02	0,01	1,5	0,6	-	-	-
DILLIMAX 690	S690QL	1.8928	6–200	0,2	0,5	1,6	0,018	0,005	1,5	0,6	1,8	0,004	0,1
SIMAXX 700	S690QL	1.8928	8–100	0,18	0,5	1,5	0,012	0,002	1,0	0,45	0,8	0,005	-
ALFORM 700M*			8–60	0,12	0,60	2,1	0,02	0,008	1,5	0,5	2,0	0,005	0,12
XABO 890	S890QL	1.8983	3–100	0,18	0,50	1,6	0,02	0,01	0,8	0,7	2,0	-	0,1
DILLIMAX 890	S890QL	1.8983	4–50	0,2	0,5	1,6	0,018	0,005	0,9	0,7	2,0	0,004	0,1
SIMAXX 900	S890QL	1.8983	8–60	0,18	0,5	1,5	0,012	0,002	1,0	0,45	0,8	0,005	-
ALFORM 900 X-TREME	S890QL	1.8983	3,5–8	0,12	0,5	1,7	0,015	0,006	1,5	0,7	2,0	0,005	0,12
XABO 960	S960QL	1.8933	3–100	0,18	0,50	1,6	0,02	0,01	0,8	0,7	2,0	-	0,1
DILLIMAX 965	S960QL	1.8933	4–120	0,2	0,5	1,4	0,018	0,005	0,9	0,7	2,0	0,004	0,1
ALFORM 960 X-TREME	S960QL	1.8933	3,5–8	0,12	0,5	1,7	0,015	0,006	1,5	0,7	2,0	0,005	0,12
STREX 960 PLUS	S960QL	1.8933	2 - 7	0,18	0,5	1,7	0,020	0,010	-	-	-	-	-
SIMAXX 1000	S960QL	1.8933	8–60	0,19	0,5	1,3	0,015	0,002	1,2	0,6	0,5	0,005	-
XABO 1100	-	1.8942	4–40	0,20	0,50	1,7	0,02	0,005	1,5	0,7	2,5	-	0,12
DILLMAX 1100	-	1.8942	8–40	0,18	0,5	1,6	0,018	0,005	2,0	0,7	3,5	0,004	0,1
ALFORM 1100 X-TREME	-	1.8942	3,5–8	0,2	0,5	2,1	0,015	0,006	1,7	0,8	2,0	0,005	0,2
* zusätzlich Al ges. min. 0,020 %, Nb max. 0,06 %, Ti max. 0,05 %, Nb + V + Ti max. 0,22 %													

Vir: (UNIONSTAHL, 2018; SIJ ACRONI, 2018; SSAB, 2017)

Posamezne vrednosti legirnih elementov v materialu S960QL v odstopanju od standarda SIST EN 10025-6:2005+A1:2009 (Tabela 2a) se vidijo v Tabeli 4 v primerjavi z dokazili o kakovosti materiala proizvajalca – materialnim certifikatom 3.1 in podatkovnim listom posameznega proizvajalca (W-list).

Standard posameznim proizvajalcem dopušča možnost spremembe legirnih elementov v odvisnosti od debeline pločevine v okviru mejnih vrednosti (Tabeli 2 in 3 v standardu SIST EN 10025-6:2005+A1:2009) do meje doseganja v standardu določenih mehanskih lastnosti materiala (Tabele 4, 5, 6 in 7 v SIST EN 10025-6:2005+A1:2009 oziroma Tabela 5 in Tabela 6 v nadaljevanju tega dela).

Tabela 4: Primerjava vsebnosti legirnih elementov v materialu S690QL različnih proizvajalcev

S960QL		SIST EN 10025 -6 (Tabela 2a)	SIJ ACRONI		ThyssenKrupp Steel	
		Sestavni del v [%], največjih vrednosti				
Element			W-list	Certifikat 3.1 Št.Šarže: 292579	W-list	Certifikat 3.1 Št.Šarže: 683360
C	Ogljik	0,20	0,19	0,17	≤ 0,18	0,170
Si	Silicij	0,80	0,5	0,284	≤ 0,5	0,250
Mn	mangan	1,70	1,6	1,053	≤ 1,6	1,090
P	Fosfor	0,020–0,025	0,012	0,010	≤ 0,02	0,010
S	žveplo	0,010–0,015	0,02	0,001	≤ 0,01	0,001
N	Dušik	0,015	N/A	0,0058	N/A	0,0029
B	Bor	0,0050	0,005	0,0030	N/A	0,0027
Cr	krom	1,5	1,2	0,55	≤ 0,8	0,640
Cu	baker	0,5	N/A	0,261	N/A	0,030
Mo	molibden	0,7	0,6	0,49	≤ 0,7	0,600
Nb	niobij	0,06	N/A	0,027	N/A	0,027
Ni	nikelj	2,0	0,5	0,13	≤ 2,0	0,060
Ti	titan	0,05	N/A	0,016	N/A	0,005
V	vanadij	0,12	N/A	0,005	≤ 0,1	0,000
Zr	cirkonij	0,15	N/A	0,0030	N/A	0,000
Al	aluminij	0,015–0,018	N/A	N/A	N/A	N/A

Vir: (Standard SIST EN 10025-6:2005+A1:2009 , 2005 + A1 (2009); SIJ ACRONI, 2018; THYSSENKRUPP STEEL EUROPE , 2018)

Tudi za jeklo S960QL velja, da razlika kemijske analize jekla med seboj ni posebno velika. Iz tega sledi, da pri varjenju ni odstopanj zaradi vpliva legirnih elementov.

Pri S960QL je vsebnost niklja (Ni) nekoliko višja kot pri S690QL, vsebnost mangana (Mn) pa je celo nekaj nižja. Te razlike legirnih elementov na materialu S960QL in S690QL se lahko na vzorcih za raziskave potrdijo s spektralno analizo, če naročnik zvarjenca to zahteva v specifikaciji naročila.

Tabela 5: Mejne vrednosti mehanskih lastnosti poboljšanih materialov različnih proizvajalcev

Naziv	Najmanjša vrednost R_{eH} [N/mm ²] za debeline [mm]		Vrednosti R_M [N/mm ²] za debeline [mm]		Raztezek A [%]	KV [J]
	≤ 65	> 65	≤ 65	> 65	Min	pri -60 °C
NAXTRA M700	690	650	770–940	760–930	14	min.27 ¹⁾
DILLIMAX 690	690	670	770–940	770–940	14	min.27 ¹⁾
SIMAXX 700	690	-	770–940	-	14	min.27 ¹⁾
XABO 890	890	830	940–1100	880–1100	12	min.27 ¹⁾
DILLIMAX 890T	890	-	940–1100	-	16	min.27 ¹⁾
SIMAXX 900	890	-	940–1100	-	11	min.27 ¹⁾
XABO 960	960	-	980–1150	920–1070	12	min.27 ¹⁾
STRENX 960 PLUS	960	-	980 - 1150	-	10	min.27 ¹⁾
DILLIMAX 965T	960	-	980–1150	-	16	min.27 ¹⁾
XABO 1100	1100	-	1200 – 1500	-	8	min.27 ¹⁾
ALFORM 700 M	8 ≤ 15 mm: 700 >15 ≤ 50 mm: 680 >50 ≤ 60 mm: 650		770–1050	-	8 ≤ 15 mm: 10 >15 ≤ 60 mm: 12	min.40 ²⁾³⁾
Legenda: ¹⁾ Charpy - V; ²⁾ Test vzdolž smeri valjanja; ³⁾ Pri -40 °C oz. pri -20 °C						

Vir: (UNIONSTAHL, 2018; SIJ ACRONI, 2018; SSAB, 2017)

Tabela 6: Mejne vrednosti mehanskih lastnosti poboljšanih materialov po zahtevah standarda SIST EN 10025-6:2005+A1:2009

Oznaka materiala		Najmanjša vrednost R_{eH} [N/mm ²] za debeline [mm]			Vrednosti R_M [N/mm ²] za debeline [mm]			Raztezek A [%] $L_0 = 5,65\sqrt{S_0}$
po SIST EN 10025-6	po SIST EN 10027-2	≥ 3 ≤ 50	> 50 ≤ 100	> 100 ≤ 150	≥ 3 ≤ 50	> 50 ≤ 100	> 100 ≤ 150	
S690Q S690QL S690QL1	1.8931 1.8028 1.8988	690	650	630	770 do 940	760 do 930	710 do 900	14
S890Q S890QL S890QL1	1.8940 1.8983 1.8925	890	830	-	940 do 1100	880 do 1100	-	11
S960Q S960QL	1.8941 1.8933	960	-	-	980 do 1150	-	-	10

Vir: (Standard SIST EN 10025-6:2005+A1:2009 , 2005 + A1 (2009))

Uporaba fino zrnatih materialov danes skoraj nima več omejitev. Na Sliki 3 in v Tabeli 7 se lahko vidijo posledice uporabe fino zrnatega jekla v primerjavi z navadnim konstrukcijskim jeklom in pričakovan prihranek končnih vrednosti.



Slika 3: Primerjava uporabe materiala S235 in visokotrdnostnega finozičnega S960QL

Vir: (Lasten vir, 2004)

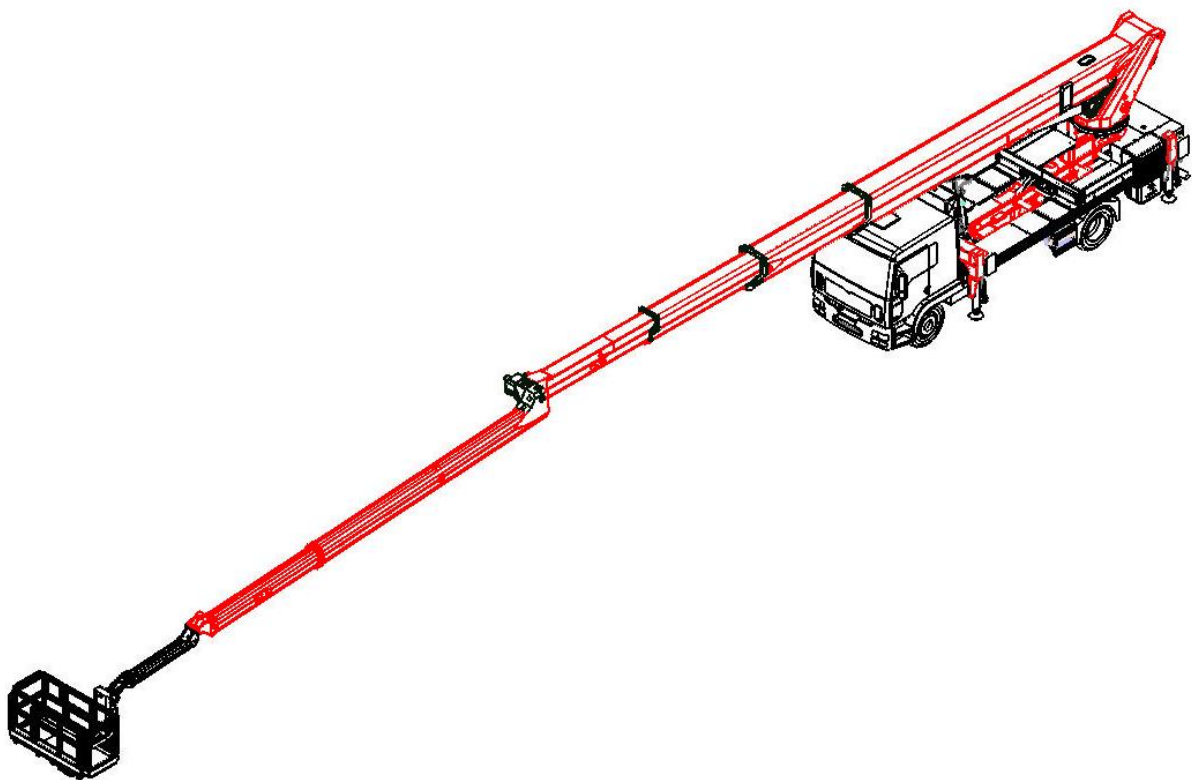
Tabela 7: Možnost prihrankov pri uporabi visokotrdnostnih jekel

Razmerje	S960QL	S235J2
Natezna trdnost [N/mm ²]	4,5	1
Debelina pločevine [mm]	1	4,5
Volumen zvara	1	9,8
Vrednost dodatnega materiala	4	1
Strošek dodatnega materiala preračuna na 1m zvara	1	3,5
Vrednost varjenja glede na čas	1	5,4
Stroški zvarnega spoja	1	1,7
Vrednost osnovnega materiala	2,2	1
Stroški osnovnega materiala za enak del	1	2,1

Vir: (Lasten vir, 2018)

V zgornji tabeli in na sliki so prikazani informativni podatki iz razmerja nateznih obremenitev v linearnem odnosu med debelino pločevine in natezno trdnostjo. Iz tega lahko sklepamo, da ob uporabi natezno obremenjenega dela iz materiala kvalitete S235, debeline 45 mm, uporabimo material visokotrdnostnega finozičnega jekla S960, debeline 10 mm. To velja samo za tako imenovane linearne odnose. V primerih, ko je material oblikovan v določen profil, kot na primer teleskop ročice žerjava, pa ima geometrija velik vpliv na vztrajnostni in odpornostni moment pri upogibnih in torzijskih obremenitvah. Zato je ni mogoče enostavno izračunati, saj se vpliv debeline pločevine v primerih povečanja prereza profila zmanjša.

Tako se v podjetju Palfinger d.o.o. tovrstni materiali zaenkrat uporabljajo samo za školjke teleskopskih ročic, nosilne dele obračala in nekaterih delov osnovnega okvirja, kot je z rdečo barvo prikazano na spodnji sliki modela.



Slika 4: Prikaz področja uporabe finoizdelanih visokotrdnostnih materialov S960QL

Vir: (Lasten vir, 2018)

2.4 Predelava finozrnatih jekel in posebnosti preoblikovanja

Materiali, ki se uporabljajo pri izdelavi zvarjencev za osnovne sestavne dele mobilnih dvigal in ostalih konstrukcij pomožnih naprav, so predvideni za hladno preoblikovanje in obdelavo. Prav zaradi tega je potrebno v večji meri upoštevati teoretične in praktične izkušnje, pridobljene na osnovi sledljivosti uporabe in vgradnje teh materialov in učinkovito vodenih zapisov o kakovosti materiala in proizvodnih procesih v podjetju.

Za to so v podjetju uvedeni sistemi zagotavljanja kakovosti po EN ISO 9001:2008: Sistemi vodenja kakovosti – Zahteve (ISO 9001:2015), EN 3834-2:2006: Zahteve za kakovost pri talilnem varjenju kovinskih materialov – 2. del: Obširnejše zahteve za kakovost (ISO 3834-2:2005), SIST EN 1090-2:2008+A1:2012: Izvedba jeklenih in aluminijastih konstrukcij – 2. del: Tehnične zahteve za izvedbo jeklenih konstrukcij, varilski certifikat in interni standardi (PNORM) in predpisi na osnovi zahtev kupcev-naročnikov in zakonskih zahtev.

Interni standardi, postopki, delovna in ostala navodila ter podatkovni listi omogočajo malo in srednje serijsko predelavo in preoblikovanje v najvišjem možnem nivoju kakovosti. Vsak proces, ki se ga na posameznih delovnih nalogih izvaja, je strogo nadziran s strani za to posebej usposobljenega kadra, ki skrbi, da dela v proizvodnji nemoteno potekajo.

Podjetje ima spričevalo o usposobljenosti za predelavo finozrnatih jekel v skladu z EN standardi.

Tako se v podjetju izvajajo naslednji procesi:

- termično rezanje pločevin
 - priprava zvarnih robov,
- hladno preoblikovanje, upogibanje,
- varjenje (ročno, polavtomatsko in avtomatizirano (varjenje z roboti)),
- mehanska obdelava (NC in CNC tehnologija),
- antikorozijska zaščita (ročna in avtomatizirana (lakiranje z roboti)),
- montaža posameznih komponent mobilnih dvigal.

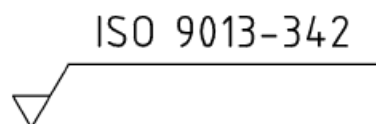
V nadaljevanju so opisani le prvi trije procesi izvajanja del, ki so v neposredni povezavi z bistvom tega diplomskega dela.

2.4.1 Termično rezanje pločevin

- **Avtogeno rezanje** uporabljamo za rezanje pločevin in profilov iz jekla. Pri procesu rezanja uporabljamo mešanico gorljivega plina acetilena in kisika, ki v razmerju omogoča najhitrejšo rezanje za doseg zahtevane kakovosti rezov do debeline materialov, ki jih v podjetju vgrajujemo v zvarjenje.
- **Plazemsko rezanje** se uporablja za rezanje materialov do debeline 20 mm. Večje debeline se reže avtogeno oz. plamensko.
- **Lasersko rezanje** v obsegu cca 80 % proizvodnje pa se opravi na strojih za laserski razrez do debeline 15 mm. Večje pa se prav tako režejo na plamenskem CNC krmiljenem rezalniku.

Odločitev o načinu in procesu rezanja je naloga tehnološkega oddelka, ki istočasno za razrez pripravlja časovno in kakovostno opredeljene programe in dokumente o sledljivosti.

Kakovost rezanih površin in dimenzij je določena z načrti in standardi. V skladu z regulativo SIST EN 1090-2:2008+A1:2012 je zahtevana kakovost rezanja opredeljena v skladu s standardom SIST EN ISO 9013:2017: Toplotno rezanje – Razvrstitev toplotnih rezov – Geometrijska specifikacija izdelkov in tolerance kakovosti (ISO 9013:2017) z oznako 342 za splošno strojegradnjo.



Slika 5: Primer oznake kakovosti površine rezanja

Vir: (Standard SIST EN ISO 9013:2017, 2017)

Pomen posameznih oznak je opisan v standardu. Omenjena oznaka je vpisana v tehnični dokumentaciji – načrtih.

Pri fino zrnatih materialih kakovosti S960Q in S960QL se upošteva trdota 450 HV10 kot mejnik, ki ne sme biti prekoračen v skladu s standardom SIST EN 1090-2:2008+A1:2012 – Tabela 10. Tako je ob pripravi materiala za razrez potrebno upoštevati zahteve po temperaturi predgrevanja in upoštevati načelo, da je potrebno vse materiale, debelejše od 15 mm in pri temperaturi, nižji od 15 °C, pred rezanjem predgrevati. V izogib dodanim stroškom za razrez je potrebno pločevine v delavnico pripraviti najmanj dva (2) dni pred rezanjem. Če temperatura pred rezanjem ne ustreza, je potrebno opraviti predgrevanje v pasovih 80–100 mm na linijah

rezanja. Pločevine pri debelinah, večjih od 15 mm in s temperaturo okolice ter materiala, manjšo od 15 °C, se praviloma predgreva na temperaturo najmanj 150 °C.

Rezanje se opravi tako, da se zadovolji zahteve iz standardov SIST EN ISO 9013:2017 in SIST EN 1090-2:2008+A1:2012 – največja dovoljena trdota površine reza, kotnost reza in kakovost površine. Površine rezov se redno preverja s primerjalnimi etaloni in po potrebi obrusi, da se odpravijo morebitno nastala odstopanja (zareze začetkov in zaključkov reza, zarez, nastalih zaradi nečistoč ipd., kot kaže primer na Sliki 6).



Slika 6: Primer zarez na površini reza zaradi nečistoč

Vir: (Standard SIST EN ISO 9013:2017, 2017)

Ob dostavi materiala, in sicer pločevine v delavnico, se preverja kakovost površine in škajavost. Po potrebi se določene pločevine pred rezanjem peska. Pozicije iz predhodno nepeskanih pločevin se peska pred dostavo na sestavo (SIST EN 1090-2:2008+A1:2012 stran 48).

Pomembno: vse površine, ki bodo varjene, morajo biti suhe in brez snovi, ki bi škodljivo vplivale na kakovost zvara ali ovirale normalen proces varjenja (rja, škaja, organske snovi ali pocinkane površine).

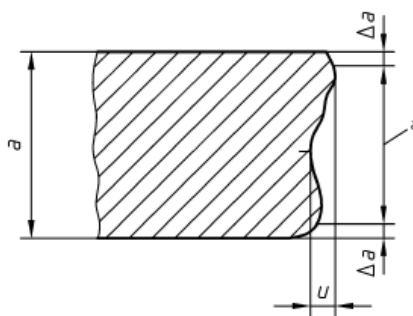
Spodnja Tabela 8 določa zahteve po kakovosti rezov in jih uvršča v posamezna področja za EXC razrede.

Tabela 8: Kakovost rezanja in rezalnih površin

	Toleranca kotnosti reza	Srednja vrednost hrapavosti površine – Rz5
EXC2	Področje 4	Področje 4
EXC3	Področje 4	Področje 4
EXC4	Področje 3	Področje 3

Vir: (Standard SIST EN ISO 9013:2017, 2017)

Slika 7 in Tabela 9 omogočata določitev kotnosti reza in dovoljene tolerance nagibov.



Slika 7: Pravokotni rez pločevine

Vir: (Standard SIST EN ISO 9013:2017, 2017)

Tabela 9: Kotnost rezanja pločevine

Področje	Pravokotnost oz. nagib reza, u [mm]
1	$0,05 + 0,003a$
2	$0,15 + 0,007a$
3	$0,4 + 0,01a$
4	$0,8 + 0,02a$
5	$1,2 + 0,035a$

Vir: (Standard SIST EN ISO 9013:2017, 2017)

Naslednja tabela omogoča določanje področja srednje vrednosti hrapavosti površine rezov, R_{Z5} .

Tabela 10: Srednja vrednost hrapavosti

Področje	Srednja vrednost hrapavosti površine, R_{Z5} [μm]
1	$10 + (0,6a: \text{mm})$
2	$40 + (0,8a: \text{mm})$
3	$70 + (1,2a: \text{mm})$
4	$110 + (1,8a: \text{mm})$

Vir: (Standard SIST EN ISO 9013:2017, 2017)

Zadnja tabela tega odstavka podaja tolerance končnih mer izdelkov [mm] v tolerančnem razredu 1.

Tabela 11: Tolerance končnih mer

Debelina materiala	Dolžinska mera							
	> 0 < 3	≥ 3 < 10	≥ 10 < 35	≥ 35 < 125	≥ 125 < 315	≥ 315 < 1000	≥ 1000 < 2000	≥ 2000 < 4000
	Tolerančno območje							
> 0 ≤ 1	± 0,04	± 0,1	± 0,1	± 0,2	± 0,2	± 0,3	± 0,3	± 0,3
> 1 ≤ 3,15	± 0,1	± 0,2	± 0,2	± 0,3	± 0,3	± 0,4	± 0,4	± 0,4
> 3,15 ≤ 6,3	± 0,3	± 0,3	± 0,4	± 0,4	± 0,5	± 0,5	± 0,5	± 0,6
> 6,3 ≤ 10	-	± 0,5	± 0,6	± 0,6	± 0,7	± 0,7	± 0,7	± 0,8
> 10 ≤ 50	-	± 0,6	± 0,7	± 0,7	± 0,8	± 1	± 1,6	± 2,5
> 50 ≤ 100	-	-	± 1,3	± 1,3	± 1,4	± 1,7	± 2,2	± 3,1
> 100 ≤ 150	-	-	± 1,9	± 2	± 2,1	± 2,3	± 2,9	± 3,8
> 150 ≤ 200	-	-	± 2,6	± 2,7	± 2,7	± 3	± 3,6	± 4,5
> 200 ≤ 250	-	-	-	-	-	± 3,7	± 4,2	± 5,2
> 250 ≤ 300	-	-	-	-	-	± 4,4	± 4,9	± 5,9

Vir: (Standard SIST EN ISO 9013:2017, 2017)

Kot primer določitve toleranc odstopanja končnih mer za pločevine med 6 in 10 mm velja vrstica 4 v zgornji tabeli. Dovoljena toleranca za priključno ploščo velikosti 350 × 400 mm je ± 0,7 mm.

Za primerjavo kakovosti površine reza uporabimo etalon, izdelan na rezalnem stroju.

Delov brez odstopanj tako ni potrebno dokumentirati. Ob ugotovitvi odstopanja od kakovosti primerjalnega etalona sodelavec na stroju obvesti kontrolo kakovosti. Takšne dele, pozicije, elemente po navodilih korektivnih ukrepov dodelamo (ustrezno obrusimo).

Dokumente izdelamo ob prvem preizkusnem projektu in jih uporabljamo kot dokazila o kakovosti v primerih, ko ni nobenih sprememb.

Priprava zvarnih robov

Priprava zvarnih robov se izvaja primerno procesu varjenja in certificiranemu postopku v skladu s SIST EN 15614-1:2017: Specifikacija in razvrščanje varilnih postopkov za kovinske materiale – Preskus varilnega postopka – 1. del: Obločno in plamensko varjenje jekel in obločno varjenje niklja in nikljevih zlitin (ISO 15614-1:2017) ob upoštevanju zahtev naročilnih

specifikacij kupcev – naročnikov. Tolerance priprave zvarnih robov in prilegov za obliko zvarnega žleba se podajo v WPS (Welding Procedure Specification).

Priprava zvarnih robov se izvaja:

- z avtogenim plamenskim rezanjem in/ali ročnim brušenjem,
- z mehansko obdelavo (struženje, rezkanje).

Standard SIST EN ISO 9692-1:2013: Varjenje in sorodni postopki – Načini priprave zvarnih robov na jeklih – 1. del: Ročno obločno varjenje, obločno varjenje v zaščitnih plinih, plamensko varjenje, varjenje TIG in varjenje s snopom (ISO 9692-1:2013) priporoča nekaj primerov in podrobnosti priprave zvarnih žlebov za določene varilne procese po standardu SIST EN ISO 4063:2011: Varjenje in sorodni postopki – Seznam načinov in številčne oznake (ISO 4063:2009, popravljena verzija 2010-03-01).

Za pripravo zvarnih robov velja enaka kvaliteta površin rezov kot pri termičnem rezanju pločevin po standardu SIST EN ISO 9013:2017 z možnimi odstopanji, opisanimi v zgornjih tabelah (Tabele 8–11).

Priprava zvarnega roba se izvaja v delovnih prostorih predobdelave (BF). Včasih, ko temperatura okolice pade tako nizko, da je temperatura obdelovanca samo +5 °C (za finožrnata jekla +15 °C), je potrebno materiale pred toplotno pripravo zvarnih robov predgrevati na temperaturo, določeno v podatkovnem listu proizvajalca ustrezne kvalitete pločevine (priporočljivo: ali material vsaj dva dni pred razrezom skladiščiti na delovni temperaturi prostora za rezanje).

Površina zvarnih robov ne sme vsebovati mikro razpok. Po pripravi zvarnih robov s plamenskim ali plazemskim rezanjem je potrebno posamezne elemente peskati do kvalitete Sa 2½ po standardu SIST EN ISO 8501-1:2007: Priprava jeklenih podlag pred nanašanjem barv in sorodnih proizvodov – Vizualno ocenjevanje čistosti površine – 1. del: Stopnje korodiranosti in stopnje priprave nezaščitenih jeklenih podlag ter jeklenih podlag po popolni odstranitvi starih premazov (ISO 8501-1:2007), ali obrusiti. V primerih večjih napak je geometrijo zvarnega roba potrebno popraviti.

Vse večje zareze ali druge napake se popravlja z varjenjem, kjer se uporabi certificiran postopek in se območje popravila obrusi tako, da se površina na materialu izravna.

Pred pričetkom varjenja je potrebno onesnaženja na robovih in ob njih temeljito odstraniti (naprava za peskanje, čistilni boben, brušenje).

Škaja, rja, olje in barva vodijo med varjenjem do poroznosti zvarov. Vlažnost oddaja vodik, ki pospešuje nastanek prečnih razpok. Zajede in zareze, nastale pri rezanju pred vgradnjo, se obvezno povarijo in obrusijo (v podjetju se uporablja navodilo za odpravo napak pri rezanju).

Pločevine oziroma vgradni deli se lahko vgradijo samo s kovinsko čisto površino priprave zvarnega roba.

Pri prečnih spojih profilov, kjer je zahtevan razred kvalitete zvarov »B« po SIST EN ISO 5817:2014: Varjenje – Talilno zvarjeni spoji na jeklu, niklju, titanu in njihovih zlitinah (varjenje s snopom izključeno) – Stopnje sprejemljivosti nepopolnosti (ISO 5817:2014), se zvarni rob in območje v širini 20 mm ob zvaru obrusita s tračnim ali kotnim brusilnikom. Pri preklopnih zvarih ovratnikov, vodil in zaključnih plošč se zvarni rob in območje v širini najmanj 10 mm znotraj in zunaj obrusita.

To velja tudi za s »Schweißpreimerjem« ali tovarniškimi temeljnimi premazi zaščitena območja v debelini suhega filma $> 15 \mu\text{m}$. Za zahtevo kakovosti rezanih površin EXC3 in EXC4 tovarniški premazi niso dovoljeni razen posebnih primerov, ki se jih posebej obravnava.

V primeru takih zahtev se upoštevajo smernice DAST – 006 »Varjenje korozijsko zaščitene delov« in SIST EN ISO 17652-2:2003: Varjenje – Preskus osnovnih premazov v zvezi z varjenjem in sorodnimi postopki – 2. del: Lastnosti osnovnih premazov pri varjenju (ISO 17652-2:2003), ki opisuje preizkuse za oceno vpliva osnovnih tovarniških premazov na varivost.

Ustreznost postopka toplotnega rezanja se periodično preverja, kot sledi.

Iz sestavnih delov (pozicij), na katerih pripravljamo zvarni rob, se izdelajo štirje vzorci, ki zajemajo naslednje:

- raven rez iz najtanjšega materiala sestava (objekta),
- raven rez iz najdebelejšega materiala sestava (objekta),
- obliko ostrega kota iz povprečne debeline,
- obliko loka iz povprečne debeline.

Meritve se izvajajo na elementih z ravnimi rezi v dolžini vsaj 200 mm in na vsakem vzorcu se preveri zahtevan kakovostni razred. Pri vzorcih z ostrim kotom in lokom se pregleda, ali robovi dosežejo enakovreden nivo z ravnimi rezi.

Kakovost rezanih površin, določena v skladu s SIST EN ISO 9013:2017, je za različne EXC različna:

- za EXC 1 so rezani robovi brez pomembnih nepravilnosti sprejemljivi, če se z njih odstrani žlindra. Za tolerance kotnosti oziroma poševnosti uporabimo razred 5;
- za ostale tri kakovostne razrede (EXC2, EXC3 in EXC4) se zahteve določijo iz *Tabele 8*, ustreznost rezultatov pa se dokumentira.

2.4.2 Hladno preoblikovanje – upogibanje (kot posebnost preoblikovanja)

Upogibanje fino zrnatih materialov spada med posebnosti preoblikovanja, zato se v podjetju polaga posebna pozornost na izvajanje postopkov upogibanja.

Poboljšana fino zrnata jekla so predvidena za hladno upogibanje, saj bi segrevanje povzročilo spremembo strukture zrn in bi jih bilo potrebno ponovno termično obdelati. Zato se tudi v podjetju uporablja postopek hladnega upogibanja. Za ta proces se uporabljajo upogibni stroji do 1000 t pritiskov. Stroji so opremljeni z računalniki, ki omogočajo natančnejše nastavitve kotov upogibov in nasploh končnih dimenzij upogibnih delov.

Klasično upogibanje je v podjetju sicer klasičen postopek hladnega preoblikovanja in se pri tem upoštevajo povečane trdote materialov, ki bi zaradi napačne izvedbe ali nastavitve parametrov (izbira upogibne matrice s pravim razmerjem ali silo pritiska) povzročile mikro razpoke v upogibnem področju. Zato se upoštevajo ustrezna navodila proizvajalcev uporabljenega materiala (Slika 8 in Tabela 13), tako se zahteve konstrukterjev v proizvodnji pogosto spremenijo in dokumentirajo z zapisnikom.

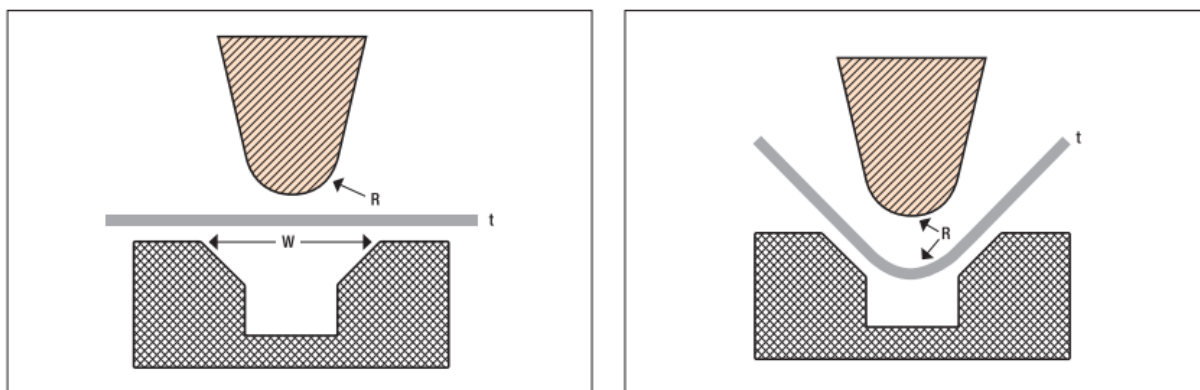
Standard SIST EN 10025-6:2005+A1:2009 opisuje za vsako kvaliteto materiala priporočen najmanjši polmer (radij) upogiba glede na nazivno debelino materiala (Tabela 12).

Tabela 12: Priporočeni najmanjši polmeri pri upogibanju

Oznaka		Priporočen najmanjši polmer upogiba pri nazivni debelini (t) $3 \leq t \leq 16$ [mm]	
po SIST EN 10025-6	Po SIST EN 10027-2	Os upogiba v prečni smeri valjanja	Os upogiba v vzdolžni smeri valjanja
S960Q	1.8941	4,0 t	5,0 t
S960QL	1.8933	4,0 t	5,0 t
^a Podatki veljajo za upogibni kot $\leq 90^\circ$.			

Vir: (Standard SIST EN 10025-6:2005+A1:2009 , 2005 + A1 (2009))

Ker morajo proizvajalci materialov nositi odgovornost in zagotoviti uporabo materiala s hladnim preoblikovanjem in ker strmijo k temu, da bi dosegali ali celo presegali navedene polmere iz standarda za vsak material, izdajo opis oziroma tabele v navodilih ali podatkovnih listih, kot je prikazano na naslednji shemi.



Legenda: R = polmer upogiba; t = debelina materiala; W = širina naslona matrice

Slika 8: Shema upogibnega procesa pred (leva skica) in po (desna skica) upogibanju

Vir: (ILSENBURGER GROBBLECH GmbH, 2018)

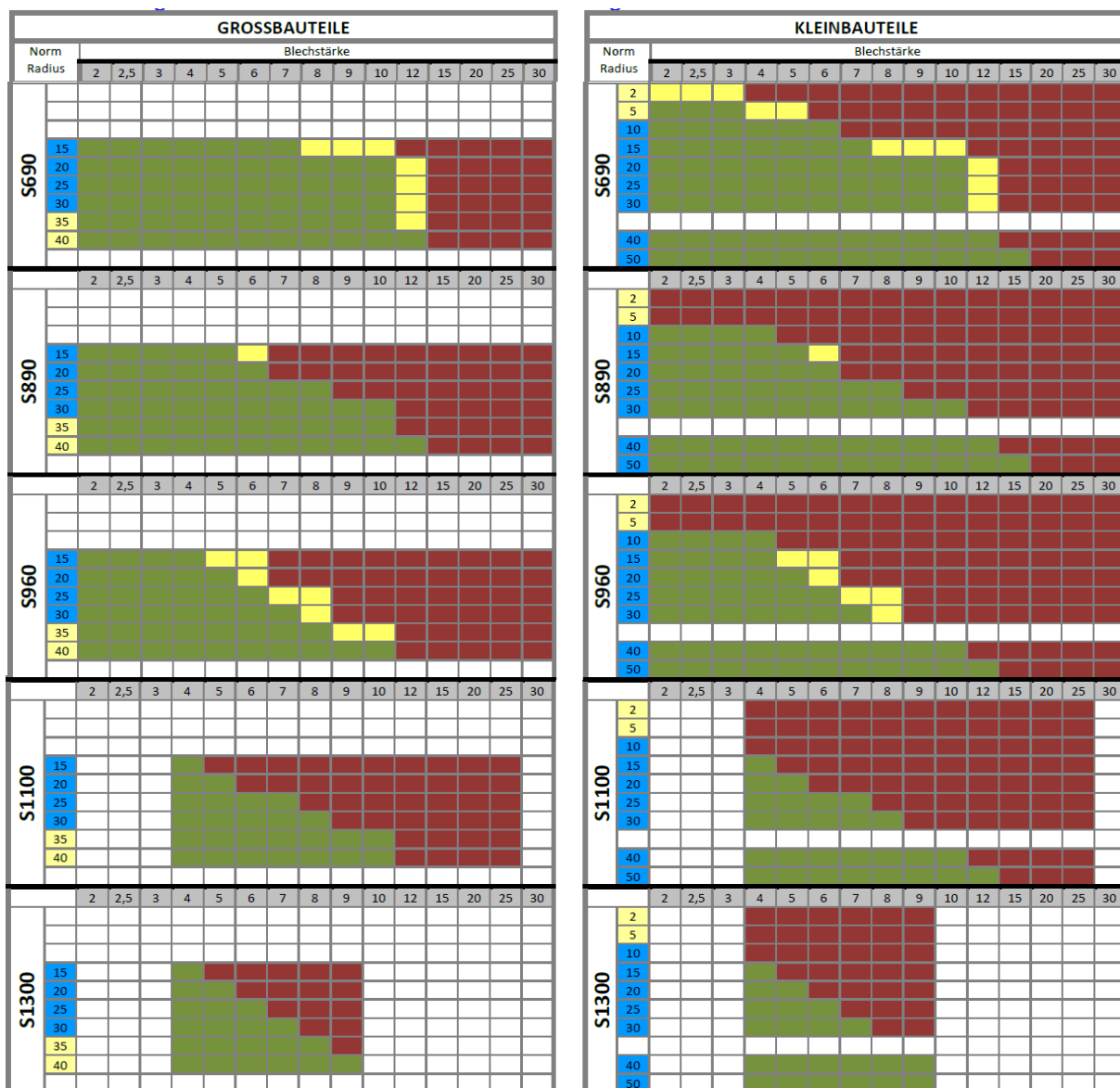
Glede na shemo upogibnega procesa je potrebno poleg smeri valjanja in polmerov upogibanja upoštevati še širine naslona matrice.

Tabela 13: Priporočeni polmeri upogibanja 90 ° za visokotrnostna jekla

Vrsta materiala	Debelina pločevine < 6 mm				Debelina pločevine < 16 mm				Debelina pločevine < 20 mm			
	Prečno		Vzdolžno		Prečno		Vzdolžno		Prečno		Vzdolžno	
	R/t	W/t	R/t	W/t	R/t	W/t	R/t	W/t	R/t	W/t	R/t	W/t
MAXIL 960Q	3,0	8	3,5	9	3,5	9	4,0	10	4,0	10	4,0	10
MAXIL 960QL	3,0	8	3,5	9	3,5	9	4,0	10	4,0	10	4,0	10
MAXIL 1100QL	3,5	9	4,0	10	3,5	9	4,0	10	4,0	10	4,0	11

Vir: (ILSENBURGER GROBBLECH GmbH, 2018)

Ker ima vsak proizvajalec materiala svoje meje in vrednosti, ki, kot je razvidno iz zgornjih tabel, odstopajo od standarda, je podjetje Palfinger uvedlo interni standard, kjer so upoštevani pogoji vseh dobaviteljev in standardov, ki so v podjetju na razpolago. Tako se lažje razbere in določi polmer upogibanja za pozicije (Slika 9).



Legenda:



Splošno uporabni polmeri – velikost polmera je sprejemljiva od vseh dobaviteljev in standardov



Polmer se lahko uporablja v posebnih primerih. Polmer je sproščen pri vsaj enem dobavitelju jekla ali standardnem dobavitelju



Polmer je izven področja uporabe in za naveden material ni uporaben oziroma je potrebna sprostitev konstrukcije oziroma proizvajalca



Primarni polmeri



Sekundarni polmeri

Slika 9: Dovoljeni splošni polmeri za upogibanje do 90 ° glede na dobavitelje pločevin

Vir: (PALFINGER AG, 2016)

Prav tako imajo mnogi proizvajalci ob zahtevah za hladno preoblikovanje svojih materialov navedene pogoje, ki so ključnega pomena za obvladovanje kakovosti izdelkov. Pri upogibanju je potrebno upoštevati naslednje zahteve proizvajalcev:

- površina upogibnih področij mora biti brez razpok (mikro razpok),
- robovi morajo biti posneti v skladu s standardom SIST EN 1090-2:2008,
- zakaljeni robovi oziroma površine rezov morajo biti obrušene,
- upogibanje opravljamo pri temperaturi okolice (temperatura delovnega okolja min. 18 °C),
- matrice morajo biti ustrezno namazane,
- priporočljivo je upogibanje v več korakih,
- redno čiščenje in pregled upogibnega orodja.

(ILSENBURGER GROBBLECH GmbH, 2018)

3 PROCES VARJENJA VISOKOTRDNOSTNIH FINOZRNATIH JEKEL IN POSTOPEK VARJENJA V ZAŠČITNEM PLINU

3.1 *Dovoljenja za varjenje in potrditev usposobljenosti podjetja za varjenje*

Za izvajanje varilskih del in izdelavo zvarjencev pri posameznih proizvajalcih je potrebna uvedba sistema zagotavljanja kakovosti varilskih del v skladu z evropskimi normami in določeno direktivo v odvisnosti od panoge registracije podjetja proizvajalca (gradbeništvo, strojogradnja, žerjavogradnja, splošna strojogradnja, transportna tehnika in izdelava jeklenih konstrukcij ...).

Evropski komite za norme je izdal navodila in kriterije, s katerimi izvajalci del zagotavljajo kakovostno izdelavo zvarjencev. Uvajanje sistema zagotavljanja kakovosti s področja predelave in varjenja pločevin in cevi z določenimi varilnimi procesi. Uvajanje procesov ima odločilen vpliv na končno ceno in kakovost izdelkov, zato je potrebno zagotoviti, da se izvajajo na najbolj učinkovit način, ki omogoča stalno sledljivost, kontrolo in nadzor nad izdelavo. Zahtev procesa varjenja ni mogoče enostavno preverjati, zato spada proces varjenja med specialne (posebne) procese proizvodnje.

V skladu s standardom SIST EN ISO 3834-1–6 so zahteve razdeljene na 3 (tri) stopnje zahtevnosti. Proizvajalci zgoraj omenjenih panog si sami določijo kriterije sprejemljivosti procesa izvajanja varjenja v podjetju, ki so odvisni od velikosti delovnih prostorov, opreme in usposobljenosti kadrov.

Stopnjo zahtevnosti zvarjencev določi proizvajalec, za potrditev stopnje na osnovi zahtev kupca in ocene usposobljenosti proizvajalca ob upoštevanju zakonskih in izvedbenih predpisov izdelave pa zahteva potrditev oziroma certifikat o usposobljenosti s strani certifikacijskih organov na nacionalnem ali mednarodnem nivoju.

Za varjenje kot specialni proces je pomembno, da se lahko preverja, ugotavlja stanje sprejemljivosti in s posebnim dokazilom (Priloga 1) tudi potrjuje – certificira.

Tako izdelava jeklenih nosilnih konstrukcij iz visokotrdnostnih finoizrnatih jekel po EN standardih zahteva potrditev procesov za izvajanje varilskih del.

Certificiran sistem zagotavljanja kakovosti varilskih del zahteva urejeno organizacijsko povezanost posameznih faz izdelave, kar omogoča konstanten in sprejemljiv nadzor nad izvajanjem.

Standard SIST EN ISO 3834-1:2006: Zahteve za kakovost pri talilnem varjenju kovinskih materialov – 1. del: Merila za izbiro stopenj sprejemljivosti (ISO 3834-1:2005) vsebuje metode, ki dokazujejo sposobnost proizvajalca, da izdela zvarjenca naprej določene kakovosti v skladu z naročniškimi specifikacijami, produktnimi normami in zakonskimi predpisi.

Certifikat o usposobljenosti, ki ga izda neodvisna akreditirana nacionalna ali mednarodna institucija za izdelavo nosilnih jeklenih konstrukcij v skladu s standardi SIST EN ISO 3834-2:2006; SIST EN 15085-1-5:2008: Železniške naprave – Varjenje železniških vozil in njihovih delov; SIST EN 1090-2:2008+A1:2012 z možnostjo razširitve za žerjave in žerjavne proge iz visokotrdnostnega konstrukcijskega jekla S960QL, številka materiala: 1.8933.

Še sprejemljive zahteve za obvladovanje in preverjanje sistema kakovosti v podjetju so odvisne od usposobljenosti kadrov. Za dokazilo o sprejemljivosti je potrebno, da ima podjetje najmanj 2 (dva) kvalificirana varilca – ključavničarja (ustrezno usposobljeni, potrjeni, atestirani osebi), stalno zaposlenega strokovnjaka s področja varjenja po SIST EN ISO 14731:2007: Koordinacija varilnih del – Naloge in odgovornosti (ISO 14731:2006), s kvalifikacijo, primerno stopnji zahtevnosti zvarjenca (EWI – evropski varilski inženir; EWT – evropski varilski tehnolog ali EWS – evropski varilski specialist) (Standard SIST EN ISO 3834-1:2006, 2006).

Preizkusi varilcev:

Varilci, ki izvajajo dela na s strani Palfinger Maribor naročenih konstrukcijskih elementih ali v podjetju, morajo imeti veljavno spričevalo o preizkusu varilca za postopke in materiale po SIST EN ISO 9606-1:2016: Preskušanje usposobljenosti varilcev – Talilno varjenje – 1. del: Jekla (ISO 9606-1:2012, vključno s popravkoma Cor 1:2012 in Cor 2:2013), npr. za finoizrnata konstrukcijska jekla od kvalitete S355 naprej.

Potrebni preizkusi varilcev:

- za pločevine:

SIST EN ISO 9606-1 135S P BW FM2 S t12 PF ss nb (sočelni zvar),

SIST EN ISO 9606-1 135S P FW FM1 S t12 PD ml (kotni zvar),

- za cevi:

SIST EN ISO 9606-1 135D T BW FM1 S t14 D 160 H-L045 ss nb.

3.2 Varilni postopki

V podjetju se obvladujejo in uporabljajo spodaj naštetih varilni postopki z označbami po standardu SIST EN ISO 4063:2011:

- MAG (135) – varjenje v aktivnem zaščitnem plinu,
- MAG (136) – varjenje v aktivnem zaščitnem plinu s stržensko žico,
- UP (121) – varjenje v zaščiti praška.

Obvladovanje določenih postopkov varjenja se mora v podjetjih dokazovati z verifikacijskimi (delovnimi) preizkusi postopka po standardu SIST EN ISO 15614-1–5, za material na ustreznih debelinah. Veljavnost delovnega preizkusa poteče po 1 letu, zato ga je potrebno vsako leto podaljševati v skladu s smernicami DVS 1702 in s SIST EN 1090-2:2008+A1:2012, ne da bi se to posebej zahtevalo. Smernice DVS 1702 ob razširitvi uporabe na material po SIST EN ISO 10025-6:2005+A1:2009, S960QL oziroma po SIST EN 10027-2:2015: Sistemi označevanja jekel – 2. del: Številčni sistem, št. materiala 1.8933, zahtevajo dodatna preizkušanja. Pri tem je potrebno dokazati, da sta trdnost in žilavost zvarnega spoja enaki lastnostim osnovnega materiala. Upoštevati je potrebno varilni postopek in način varjenja, ki je lahko ročni, polavtomatski ali popolnoma avtomatiziran (varjenje z robotom).

Pri tem se upošteva, da se preizkus zarezne udarne žilavosti izvaja pri temperaturi $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ (preizkušanelec mora biti izdelan po smernicah standarda SIST EN ISO 148-1:2017: Kovinski materiali – Udarni preskus po Charpyju – 1. del: Preskusna metoda (ISO 148-1:2016), prečno na smer valjanja pločevine z obliko zareze ISO-V), pri čemer znaša minimalna povprečna vrednost 27 J. Če je zaradi izrednih naročil zahtevana nižja obratovalna temperatura ($-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ali $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$), je pred pričetkom del potrebno dokazati in uskladiti minimalne dovoljene vrednosti (izvajati potrditve postopkov varjenja z delovnimi probami v skladu s SIST EN ISO

15613:2004: Popis in kvalifikacija varilnih postopkov za kovinske materiale – Razvrščanje na podlagi pred-proizvodnega preskusa varjenja (ISO 15613:2004) ali izbrati ustrezen material z garantiranimi mehanskimi lastnostmi pri nižjih temperaturah).

3.3 Varjenje

Pri procesu varjenja se uporablja varilni gorilnik, ki deluje kot premični vir toplote. S tem se pojavijo v materialu vplivi visokih temperatur na lokalnih območjih. Hitrost spreminjanja teh temperatur je odvisna od pogojev varjenja.

Z učinkom temperature se pojavijo v materialu tako imenovana toplotno vplivna področja v nadaljevanju TVP. Izstopajoča značilnost visokega temperaturnega razpona je hitro segrevanje materiala v ozkem območju na visoko temperaturo in kasnejše hitro ohlajanje. Pojav je istoveten, kot nepravilno izveden postopek toplotne obdelave jekla. Posledica tega je sprememba strukture materiala v TVP in s tem spremembe v lastnostih trdnosti in žilavosti materiala ter drugih mehanskih lastnosti.

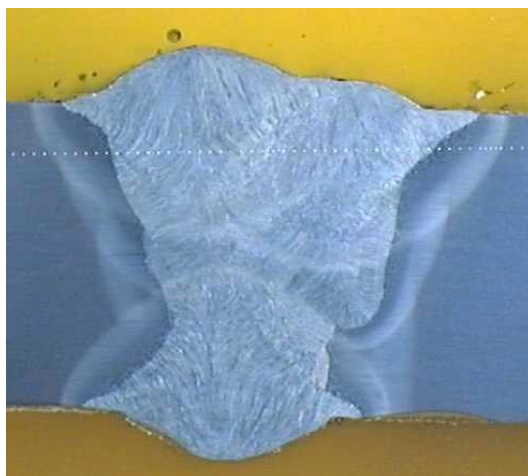
- Prepočasno ohlajevanje vodi k povečanju vpliva energije in s tem zmanjšanje nosilnosti vara. Žilavost materiala v TVP je zmanjšana zaradi nastanka grobih zrn.
- Prehitro ohlajevanje poveča trdnost in mejo tečenja, vendar lahko povzroči visoko trdoto v TVP, ki zmanjša raztezek. Poleg tega je povečana možnost pojava razpok in napetostnih razpok, ki jih lahko povzroča zaostali vodik v materialu.

Zelo pomemben parameter za opis krivulje temperature med varjenjem je koncept ohlajevalnega časa $\Delta t_{8/5}$. Pod ohlajevalnim časom $\Delta t_{8/5}$ se razume čas, ki je potreben pri ohlajevanju zvara zato, da preide v temperaturno območje med 800 in 500 °C. V tem času se izvedejo vsi parametri, ki vplivajo na proces varjenja. S pomočjo koncepta $\Delta t_{8/5}$ sta določeni zgornja in spodnja meja ohlajevalnega časa. Razen tega lahko določimo pravilne povprečne varilne parametre, opisane v naslednji točki.

Postopek določitve časa $\Delta t_{8/5}$ in preprečevanje napetostnih razpok zaradi vodika je opisan v podatkovnem listu SEW 088, ki daje praktična priporočila za varjenje finoizrnatih jekel.

Ena najbolj zanesljivih tehnik za nadzor obvladovanja vnosa temperature v material pri varjenju konstrukcijskih finoizrnatih jekel je večvarkovna tehnika varjenja s tanjšimi posameznimi varki. Ta je potrebna predvsem za debelejša materiale. Zvar je zgrajen s prekrivanjem več posameznih plasti. Posamezni zvari so ozki in zavarjeni z zelo majhnim pravilnim nihanjem gorilnika

(pravila iz prakse: širina posamezne plasti zvara ne sme presegati 10-kratnega premera dodajnega materiala (12 mm) in debeline 3 mm, če pri varjenju, kar je v praksi največ v uporabi, za dodajni material uporabimo masivno žico s premerom 1,2 mm).



Slika 10: Zgradba sočelnega zvara z večvarkovno tehniko varjenja

Vir: (Lasten vir, 2018)

Na Sliki 10 je moč videti zgradbo zvara materiala kvalitete S960QL in z debelino 12 mm. Zvar je zavarjen z eno korensko, 4 vmesnimi, 2 površinskima plastema in enim zvarom z nasprotne strani. Korenski zvar je pred varjenjem nasprotnega zvara obrušen, zato ga na posnetku ni moč videti. Vsaka zavarjena plast ustvari lastno toplotno vplivno cono v osnovnem materialu, ki se delno med seboj prekrivajo. Vsaka naslednja plast povzroči toplotno obdelavo prejšnje plasti (t. i. popuščanje napetosti). To bo preprečilo prekomerno rast kristalov v mikrostrukturi materiala v TVP. Področje toplotnega vpliva je veliko manjše kot pri zvaru z enim samim varkom. Večplastno varjenje in s tem večkratno segrevanje osnovnega materiala nam omogoča, da se vodik iz materiala odvaja hitreje, kar pripomore k zmanjšanju možnosti nastanka prečnih razpok (t. i. vodikovih razpok), pod pogojem, da se varjenje izvaja s kontrolirano medvarkovno temperaturo.

Vsaka plast zvara v večplastnem oziroma večvarkovnem varjenju pripomore, da so deformacije pri varjenju relativno male, temu primerni so tudi skrčki v primerjavi z varjenjem z enim samim velikim zvarom. Seveda se ne sme pozabiti na pravilno pripravo zvarnega žleba (SIST EN ISO 9692-1:2013; Tabela 2).

Slika 11 prikazuje zvar, izveden na debelini pločevine 15 mm in kvalitete S960QL, kjer so prav tako lepo vidna TVP in prehodi med posameznimi varki.



Slika 11: Makro obrus vzorca debeline 15 mm

Vir: (Lasten vir, 2018)

3.4 *Koncept $\Delta t_{8/5}$*

Pri varjenju vodnokaljenih in termo-mehansko oblikovanih finoizrnatih jekel je poleg uporabe pravilno izbranega dodatnega materiala predvsem pomembno upoštevanje vnosa toplote (vnesene energije, temperature med posameznimi varki) in gradnje zvarov (večvarkovno varjenje).

Na mehansko-tehnološke lastnosti zvara in TVP imajo odločilen vpliv temperatura in ohlajevalni čas $\Delta t_{8/5}$. Pod pojmom ohlajevalni čas $\Delta t_{8/5}$ razumemo čas, ki je potreben med ohlajevanjem posameznega varka z 800 °C na 500 °C.

Določitev ohlajevalnega časa računsko in grafično določimo s pomočjo podatkovnega lista SEW 088 (Stahl Eisen Werkstoffdatenblatt). V praksi je mogoče meritve ohlajevalnega časa izvajati z mikroprocesorsko krmiljenim merilcem (Abkühlzeitmeter – merilec časa ohlajevanja).

Pri merjenju časa ohlajevanja se uporabi CrNi-Cr sonda, ki se potopi neposredno v talino zvarnega spoja ob gorilniku takoj za varilnim oblokom. V okviru tega diplomskega dela natančen opis ohlajevalnega časa $\Delta t_{8/5}$ ni pomemben, tako da ni potrebe po podrobnem opisu le-tega. Za izračun in določitev časa ohlajanja za varilni preskus tega diplomskega dela so bila uporabljena priporočila SEW 088. Odstopanja med izračunanim in izmerjenim časom ohlajanja so približno 10-odstotna. Pri tem se opazi, da na temperaturno-časovni potek ohlajanja vpliva vnos toplote med procesom varjenja.

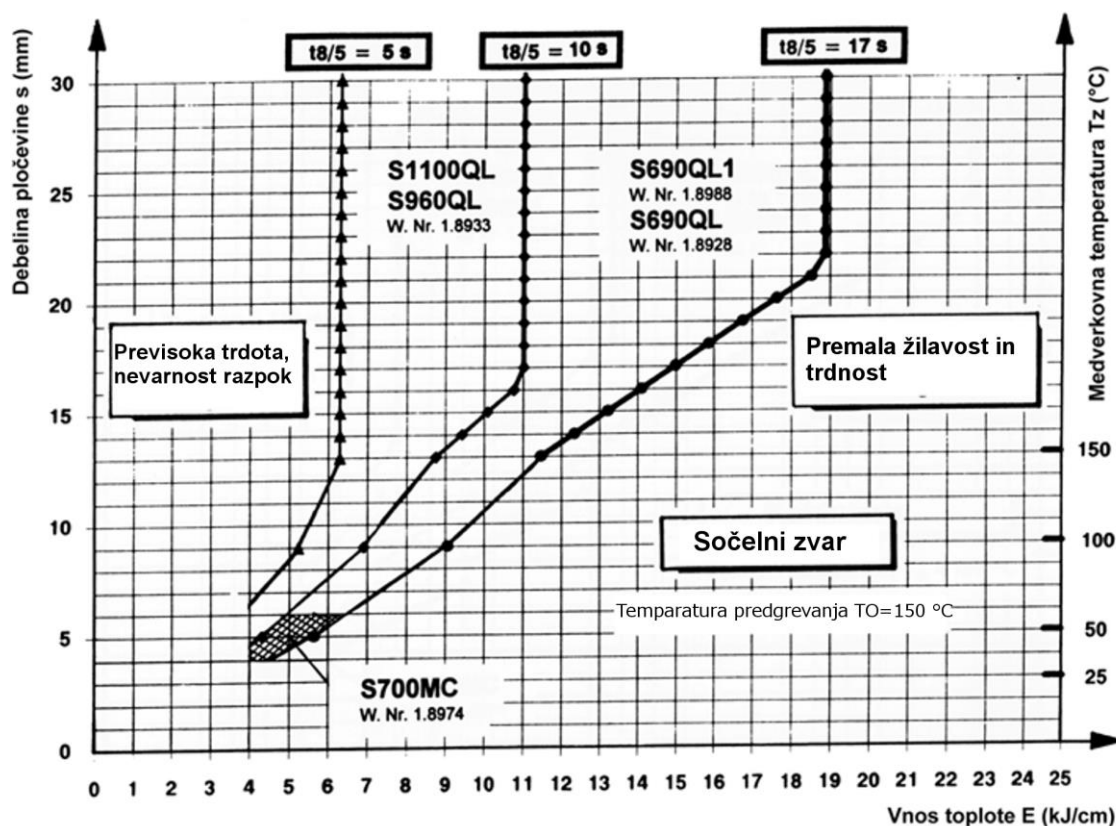
Potrebno je opozoriti, da se z merjenjem določi le čas ohlajanja na varilnem mestu. Pri ročnem varjenju se hitrost varjenja spreminja. Z ročnim vodenjem gorilnika se prav tako spreminjajo varilni parametri, kot sta varilni tok in napetost, ki niso konstantni. Poleg tega porazdelitev

temperature v celotnem preseku osnovnega materiala ni popolnoma homogena. Zato imajo tudi meritve časa $\Delta t_{8/5}$ na nekaterih razdaljah različne vrednosti. Prav tako se lahko pri izračunu pričakujejo odstopanja od dejanske hitrosti ohlajevanja. Potrebno je zagotoviti nadzor ohlajevalnega časa za izboljšanje kakovosti zvarov. Popolnoma drugačne so vrednosti pri avtomatskih postopkih varjenja, kjer računalnik omogoča direktno merjenje ohlajevalnega časa, ki ga je možno odčitati na zaslonih krmilnih konzol.

Običajno so ohlajevalni časi podani v določenem področju, ki zagotavlja sprejemljive rezultate zahtev (med 5 in 10 s – čas v sekundah), kar se lahko odčita iz spodnje slike grafa.

Vnaprej izbrane vrednosti določamo in potrjujemo z varilnimi preizkusi in verificiranimi postopki na osnovi pWPS.

Diagram na Sliki 12 prikazuje dovoljene vrednosti ohlajevalnega časa in vnosa toplote za zvarjenje iz materiala S960QL in ostale materiale iz nereguliranega področja v odvisnosti od debeline pločevine.



Slika 12: Diagram – Vnos toplote pri sočelnih zavrih

Vir: (Lasten vir, 2004)

3.5 Računska določitev ohlajevalnega časa $\Delta t_{8/5}$

Velik vpliv na čas ohlajanja imajo varilni tok, napetost, hitrost varjenja, toplotni izkoristek varilnega procesa, fizikalne lastnosti in geometrične oblike zvara.

S pomočjo varilnih parametrov toka, napetosti in hitrosti varjenja lahko izračunamo vnos energije E , in sicer:

$$E = \frac{U \times I}{v} \times 10^{-3}, \quad (3.1)$$

pri čemer je:

E – vnesena energija [kJ/mm],

U – napetost [V],

I – varilni tok [A],

v – hitrost varjenja [cm/min].

Z relativnim toplotnim izkoristkom » k « in zgoraj izračunanim vnosom energije lahko izračunamo tudi vnos toplote » Q « v osnovni material po naslednji enačbi:

$$Q = E \times k, \quad (3.2)$$

kjer je:

Q – vnesena toplota [kJ/cm],

E – vnesena energija [kJ/cm],

k – relativni toplotni izkoristek.

» k « predstavlja razmerje med vneseno toplotno energijo v zvaru in porabljeno električno energijo. Referenca določitve tega razmerja » k « je varjenje pod praškom z vrednostjo $k = 1$, kot je razvidno iz Tabele 14.

Tabela 14: Vrednost toplotnega izkoristka pri različnih postopkih varjenja

Postopek varjenja	Toplotni izkoristek »k«
varjenje pod praškom	1
elektroobločno varjenje (bazična elektroda)	0,8
MAG varjenje z CO ₂ (ali mešanico Ar + CO ₂)	0,8
MIG varjenje z mešanico plina Ar ali He	0,8
TIG varjenje z mešanico plina Ar ali He	0,6

Vir: (STAHL-EISEN-Werkstoffblätter des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute, 1993)

Faktorja F_2 in F_3 sta faktorja zvara, pri katerih upoštevamo toplotne izgube s pomočjo različnih tipov zvarov (Tabela 15). Pri odvajanju toplote je potrebno razlikovati dvo- in tridimenzionalno odvajanje toplote. Za dvodimenzionalno odvajanje uporabimo F_2 , za tridimenzionalno pa F_3 . Faktor zvara zagotavlja informacije o času hlajenja glede na poljubno izbran tip zvara v primerjavi na čas ohlajanja pri enoplastnem varjenju.

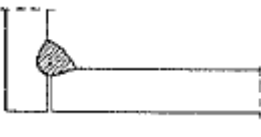
Pri **dvodimenzionalnem odvajanju toplote** je za hlajenje značilen močan vpliv debeline osnovnega materiala. Pojavi se na tankih pločevinah, ko se osnovni material pod oblokom segreva tako močno po celi debelini, da je mogoč odvod samo vertikalno ob zvaru.

Pomembni dejavniki za čas ohlajanja so v tem primeru vnos energije Q , temperatura predgrevanja T_0 (oziroma temperatura med posameznimi varki T_i), debelina pločevine in oblika zvarnega žleba.

Pri **tridimenzionalnem odvajanju toplote** je značilno, da debelina osnovnega materiala nima nobenega vpliva na čas hlajenja. To se pojavi pri debelejših materialih, ko varilni oblok ne segreje materiala po vsej debelini. Toplota se ne širi le vzporedno po zgornji strani materiala, ampak tudi v globino.

Za poskus tega dela in izračun ohlajevalnega časa $\Delta t_{8/5}$ se uporabi razmerje toplotnega izkoristka $k = 0,8$ in faktor zvara $F_2 = F_3 = 0,9$.

Tabela 15: Vpliv oblike zvara na čas ohlajanja $\Delta t_{8/5}$

Tip (oblika) zvara		F_2	F_3
Navar		1,0	1,0
Polnilni varki pri sočelnem V-zvaru		0,9	0,9
Kotni zvar pri kotnem spoju		0,9 – 0,67	0,67
Kotni zvar pri T- ali križnem spoju		0,45 – 0,67	0,67

Vir : (STAHL-EISEN-Werkstoffblätter des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute, 1993)

Ohlajevalni čas $\Delta t_{8/5}$ se lahko izračuna po naslednji formuli:

- tridimenzionalno odvajanje toplote pri nelegiranih in nizko legiranih materialih:

$$\Delta t_{8/5} = (6700 - 5 \times T_0) \times Q * \left(\frac{1}{500 - T_0} - \frac{1}{800 - T_0} \right) \times F_3 \text{ [s]}, \quad (3.4)$$

kjer je:

T_0 - temperatura predgrevanja oziroma medvarkovna temperatura » T_i « [°C],

Q – vnos energije,

F_3 – faktor zvara pri tridimenzionalnem odvajanju toplote.

Opaziti je, da je ohlajevalni čas proporcionalen s » Q « (vnosom energije) in raste s temperaturo predgrevanja T_0 .

- Dvodimenzionalno odvajanje toplote pri nelegiranih in nizko legiranih materialih:

$$\Delta t_{8/5} = (4300 - 4,3 \times T_0) \times 10^5 \times \frac{Q^2}{a^2} \times \left[\left(\frac{1}{500 - T_0} \right)^2 - \left(\frac{1}{800 - T_0} \right)^2 \right] \times F_2 \text{ [s]}, \quad (3.5)$$

kjer je:

T_0 - temperatura predgrevanja oziroma medvarkovna temperatura » T_i « [°C],

Q – vnos energije [kJ/cm],

F_2 – faktor zvara pri dvodimenzionalnem odvajanju toplote,

d – debelina osnovnega materiala [mm].

Ohlajevalni čas je premo sorazmeren z d in raste s kvadratom dovedene toplote v material. To dokaže, da obstaja majhna razlika nihanja hitrosti in s tem spremembe vnosa energije in vnosa toplote, kar ima večji vpliv na čas hlajenja kot pri tridimenzionalnem odvajanju toplote.

Da bi se ugotovilo, ali je prisotno dvo- ali tridimenzionalno odvajanje toplote, je potrebno uporabiti in izračunati obe zgoraj navedeni enačbi z istimi parametri. Pravilna ugotovitev je enačba, pri kateri dobimo rezultat z daljšim časom ohlajanja (STAHL-EISEN-Werkstoffblätter des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute, 1993).

Druga možnost je uporaba prehoda debeline » d_p « (mm) za izračun željenega vnosa toplote, pri čemer pride do spremembe od tri-do dvodimenzionalnega odvajanja toplote.

$$d_p = \sqrt{\frac{(4300 - 4,3 \times T_0) \times 10^5}{6700 - 5 \times T_0} \times Q \times \left(\left(\frac{1}{500 - T_0} \right) + \left(\frac{1}{800 - T_0} \right) \right)} [mm], \quad (3.6)$$

kjer je:

d_p – prehod debeline [mm],

T_0 - temperatura predgrevanja oziroma medvarkovna temperatura » T_i « [°C],

Q – vnos energije [kJ/cm].

Če je ob izračunu zgoraj navedene enačbe rezultat prehoda debeline » d_p « manjši od debeline osnovnega materiala » d «, pomeni, da se toplota odvaja tridimenzionalno, sicer je dvodimenzionalno odvajanje.

S formulami za izračun ohlajevalnega časa $\Delta t_{8/5}$ se lahko z uporabo vnaprej določenih parametrov določi preostale parametre.

3.6 Nadzor procesa in vnos toplote pri varjenju

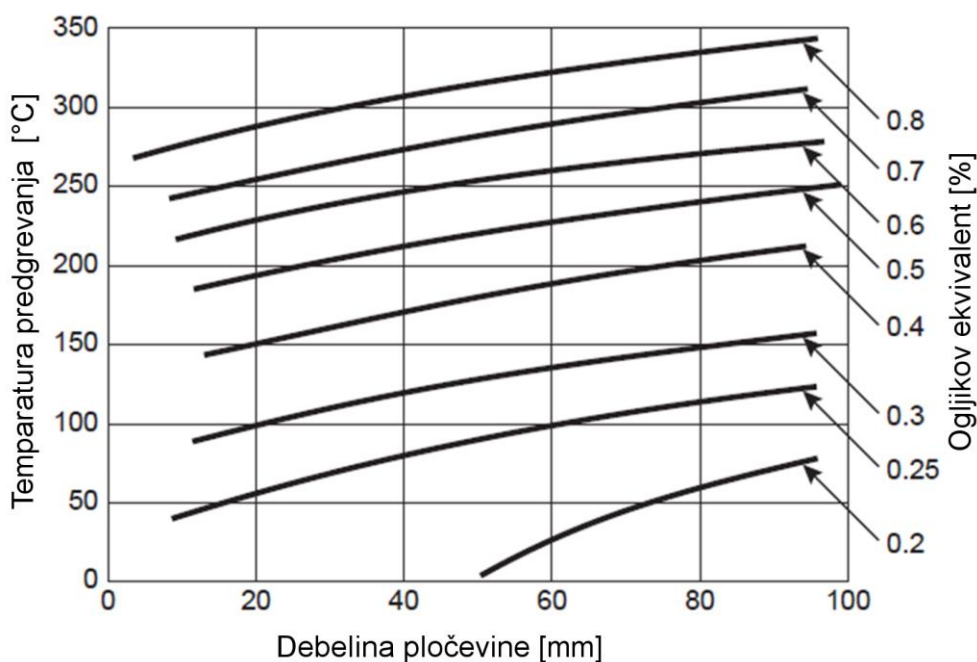
Želene vrednosti visokotrdnostnih finostrukturnih jekel ostanejo enake le takrat, ko postopek varjenja ustreza vsem varilno-tehničnim pogojem in ko so le-ti konstantni.

Zato mora biti celoten proces varjenja nadzorovan. Varilni procesi na področju jeklenih konstrukcij, ki so uveljavljeni v podjetju Palfinger d.o.o., so opisani v nadaljevanju.

Prav zaradi tega je za nalogo izbran uveljavljen postopek varjenja v zaščiti plina MAG (135), torej postopek varjenja z masivno žico (elektrodo) za materiale do natezne trdnosti 690 in 890 [N/mm²]. Razlika je le v tem, da je tukaj obravnavan še višji trdnostni material, to je material z natežno trdnostjo 960 [N/mm²].

V poglavju koncept $\Delta t_{8/5}$ so omenjeni čas ohlajanja, odvod toplote z mesta taljenja (zvara) in TVP, ki je lahko dvo-ali tridimenzionalen. Edini način za podaljšanje časa ohlajanja, ki je pri teh materialih celo omejen na najmanjši in največji čas, je seveda proces predgrevanja.

Posebni vpliv na te zahteve nima samo ogljik, ampak tudi nekateri drugi legirni elementi, ki pri varjenju v TVP povzročajo visoke trdote. Nastajanje trdih con v TVP je tem višje, čim hitrejšje je ohlajanje v tem področju. To pravilo velja predvsem za jekla z visoko vsebnostjo ogljika in s tem visokega ogljikovega ekvivalenta (CET). Zato je potrebno ta jekla predgrevati na določeno temperaturo, ki je odvisna od CET, kot je razvidno na sliki spodnjega diagrama.



Slika 13: Diagram predgrevanja glede na % CET in debelino pločevine

Vir: (VOESTALPINE BÖHLER, 2014)

Višina CET je v večini primerov podana že na pripadajočem certifikatu 3.1 v skladu s standardom SIST EN 10204 posameznega materiala, ki ga izda proizvajalec. Pri materialih, kjer CET presega mejno vrednost 0,40 % v skladu z zahtevami SEW 088, je priporočljiv ukrep predgrevanja zaradi odprave nastanka razpok v hladnem in istočasno odpravo vodika iz materiala zaradi preprečevanja prečnih razpok na zvarnih spojih. Če CET na certifikatu ni

podan, ga lahko izračunamo s pomočjo enačbe (3.7) in vrednostmi posameznih legirnih elementov materiala.

$$CET = C + \frac{Mn+Mo}{10} + \frac{Cr+Cu}{20} + \frac{Ni}{40} [\%], \quad (3.7)$$

kjer je:

CET – ogljikov ekvivalent [%],

C – ogljik [%],

Mn – mangan [%],

Mo – molibden [%],

Cr – krom [%],

Cu – baker [%],

Ni – nikelj [%].

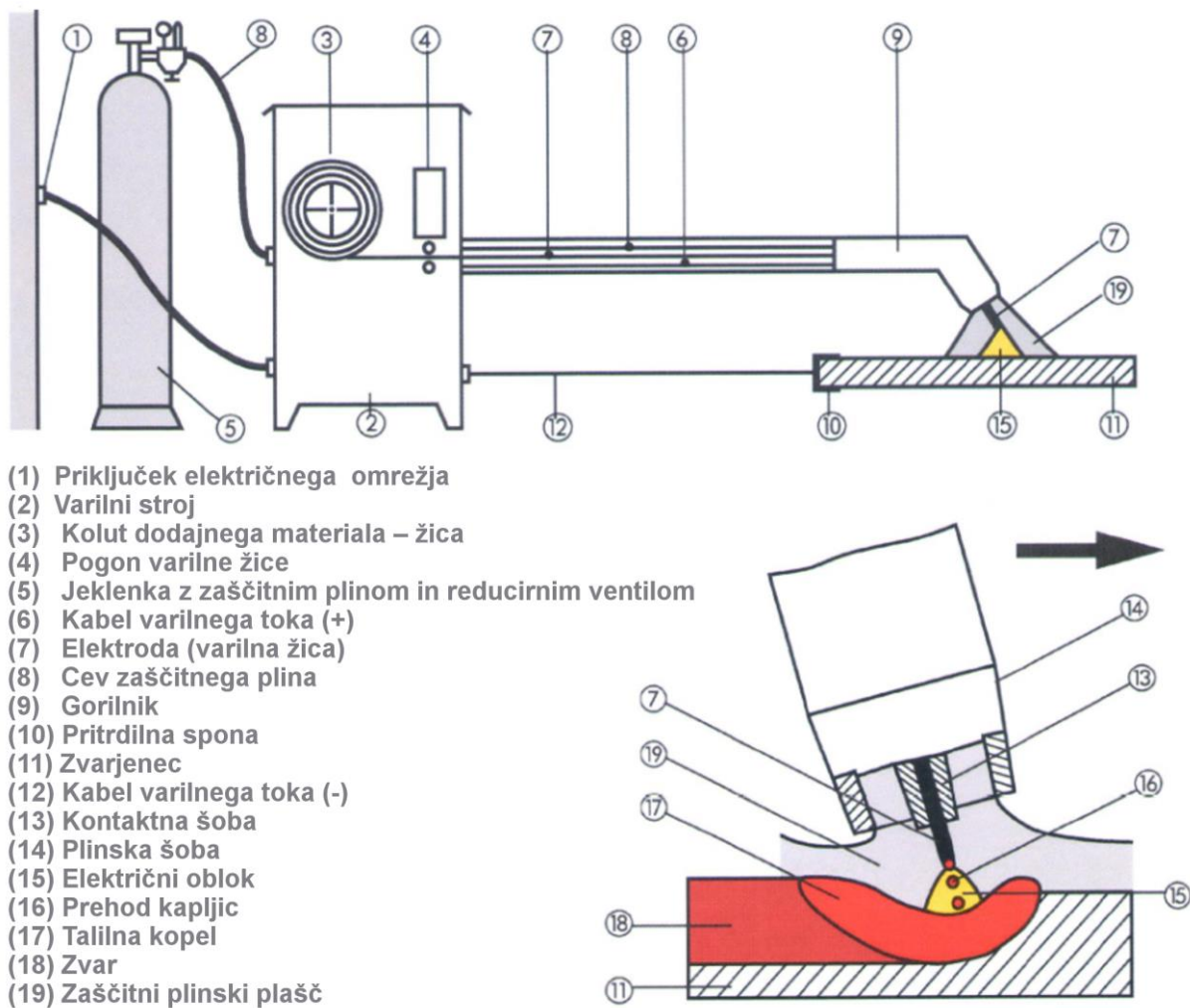
Vir: (STAHL-EISEN-Werkstoffblätter des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute, 1993)

Finozrnata jekla so v tem pogledu posebnost, saj moramo zaradi tehnološke izdelave, finega zrna in vpliva tudi ostalih legirnih elementov posebej paziti na vnose toplote in s tem na pregrevanje materiala.

Proces varjenja, kot je že prej omenjeno, mora biti nadzorovan in vnosi toplote čim bolj konstantni. Kot vidimo iz diagrama (Slika 12), je T_0 odvisna od vnosa toplote in čas ohlajanja $\Delta t_{8/5}$ omejen na min. in max. vrednost.

3.7 Princip delovanja (MAG) varjenja

Princip delovanja temelji na neprekinjenem avtomatskem dovodu dodajnega materiala na mesto odtaljevanja elektrode v električnem obloku. Elektroda je torej neskončna žica različnih premerov z ustrezno zaščito proti rjavenju. Kot izvor varilnega toka se uporablja usmernik, ki za proces izvajanja varjenja omogoča istosmerni tok, pri katerem je elektroda (žica) priklopljena na + (plus) pol. Proces omogoča ročne, polavtomatske (avtomati) in popolno avtomatizirane postopke (roboti). Električni oblok, ki ga omogoča varilni stroj – usmernik, je na mestu odtaljevanja zaščiteno z zaščitnim plinom pred vplivi atmosferskih plinov.

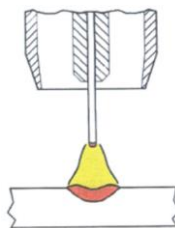


Slika 14: Princip delovanja MAG varilnega postopka z opisom posameznih enot

Vir: (Dipl.Ing. Geiss, 1993)

Izvor toplotne energije pri varjenju v zaščiti plina nastane s pomočjo varilnega stroja in električne energije. Tako nastaneta dva pomembna učinka električnega toka:

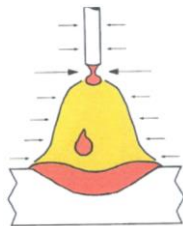
- **TOPLOTNI UČINEK:** Toplotna odpornost v žični elektrodi. Toplota obloka skozi delovanje elektronov in ionov v stebru obloka (Slika 15),



Slika 15: Toplotni učinek

Vir: (Dipl.Ing. Geiss, 1993)

- **MAGNETNI UČINEK:** Odtaljevanje kapljic pri učinku navznoter orientiranih magnetnih sil (Slika 16).



Slika 16: Magnetni učinek

Vir: (Dipl.Ing. Geiss, 1993)

Postopek varjenja v zaščitnem plinu delimo na varjenje z inertnim zaščitnim plinom (MIG) in aktivnim zaščitnim plinom (MAG) ali različnimi mešanici plina, kot so opisane v standardu SIST EN ISO 14175:2008: Pomožni materiali za varjenje – Plini in plinske mešanice za obločno varjenje in sorodne postopke (ISO 14175:2008).

- MIG postopek se uporablja pretežno za varjenje barvnih kovin in nerjavnih jekel.
- MAG postopek se uporablja za varjenje jeklenih konstrukcij iz črnih materialov.

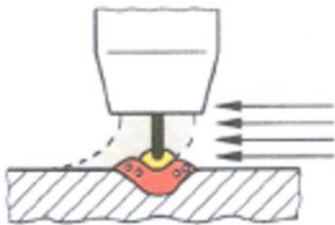
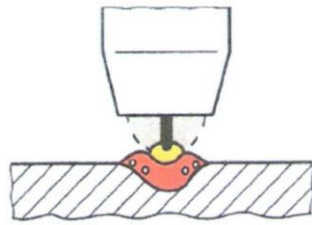
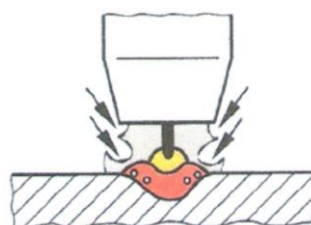
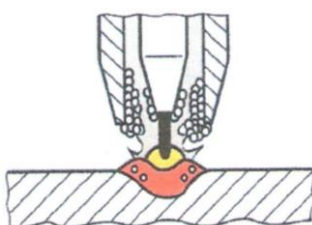
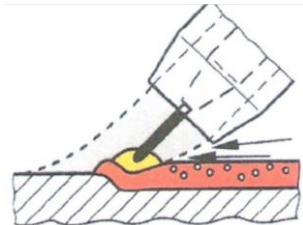
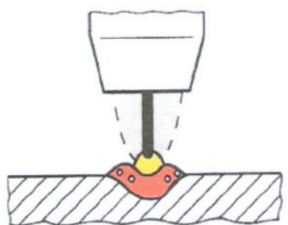
Značilnost za varjenje v zaščitnem plinu je dober in hiter nadzor odtaljevanja dodatnega materiala pri velikih hitrostih varjenja. Je gospodarsko uporaben za vse vrste debelin osnovnega materiala. Zato je varjenje v zaščitnem plinu eden najbolj razširjenih in stroškovno sprejemljivih postopkov.

Ima pa svoje pomanjkljivosti, ki se s časom uvajanja novih tehnologij izdelave varilnih strojev počasi odpravljajo. Tako nam nove izvedbe varilnih strojev omogočajo računalniški nadzor procesa in električnega obloka, s tem pa možnost programiranih nastavitve posameznih parametrov, ki odpravljajo ali zmanjšujejo v klasičnem procesu nastale pomanjkljivosti.

Pomanjkljivost postopka varjenja v zaščitnem plinu je predvsem, da je zaščita obloka občutljiva na zunanje vplive, kot so: veter, prepri in vlaga. Varjenje brez zaščitnega plina ni omogočeno zaradi pojavljanja por v zvaru. Še bolj problematična je možnost nastajanja vključkov in zlepov na začetku in iztekih zvara. Z vžigom električnega obloka se prične odtaljevanje dodatnega materiala. Osnovni material še ni dovolj segret in raztaljen, da bi prišlo do procesa zadovoljivega spajanja. Položaj gorilnika in hitrost varjenja vplivata na napako zvarnega zlepa

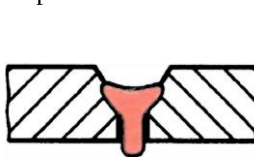
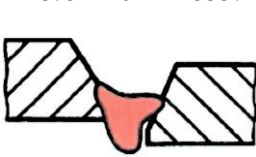
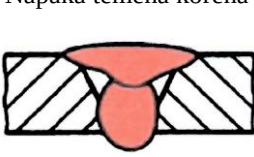
v primerih, ko talina steče pred električni oblok. Napačno nastavljeni varilni parametri (pomik žice, tok ali napetost) lahko privedejo do napak pri varjenju zaradi nestabilnega električnega obloka.

Tabela 16: Napake zaradi pomanjkanja zaščitnega plina

	Napaka: Prepih moti zaščitno področje Posledica: Nezadovoljiva zaščita – pore v zvaru		Napaka: Premajhna količina zaščitnega plina Posledica: Nezadovoljiva zaščita – pore v zvaru
	Napaka: Prevelika količina zaščitnega plina Posledica: Zaradi vrtničenja vstop zraka – pore v zvaru		Napaka: Plinska šoba, zamašena z obrizgi Posledica: Zaradi vrtničenja vstop zraka – pore v zvaru
	Napaka: Položna drža gorilnika Posledica: Vsrkavanje zraka – pore v zvaru		Napaka: Prevelik odmik gorilnika Posledica: Slaba zaščita – pore v zvaru

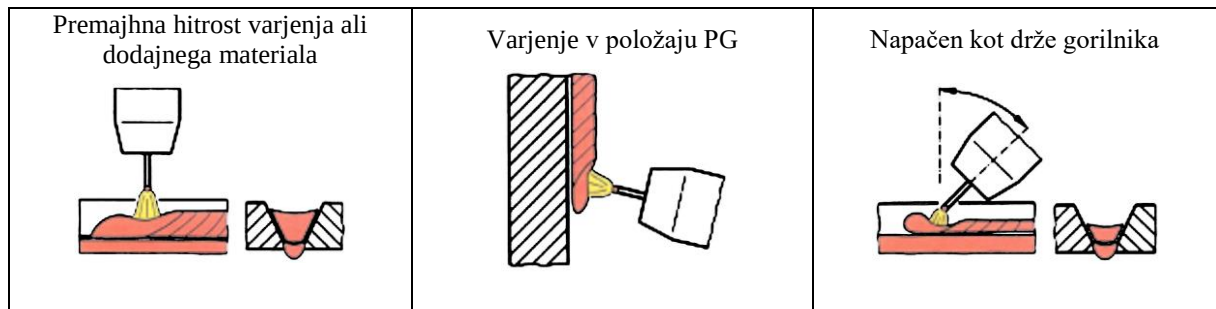
Vir: (Dipl.Ing. Geiss, 1993)

Tabela 17: Napake zvarnih zlepor

Preozek zvarni žleb $\alpha < 40^\circ$ 	Topi rob in zračna reža 	Prevelik zamik robov 	Napaka temena korena 
--	--	--	---

Vir: (Dipl.Ing. Geiss, 1993)

Tabela 18: Napake zaradi drže gorilnika



Vir: (Dipl.Ing. Geiss, 1993)

3.8 Zaščitni plin in parametri varjenja

Zaščitni plini vplivajo na topnost kapljic v talino, videz zvara, gostoto in kakovost zvarov. Imajo vpliv na stabilnost obloka in ionizirajo področje obloka.

Glavna naloga zaščitnih plinov je zaščita dodajnega materiala v talini, pri strjevanju taline pred oksidacijo in zaščita pred absorpcijo plinov iz ozračja (pred vplivi okoliških plinov na talino).

Zaščitni plini delijo MAG varjenje na dva varilna postopka:

- MAG-C: čisti CO₂,
- MAG-M: mešanica plinov z argonom kot inertnim plinom in različnimi vrednostmi CO₂ in O₂.

S povečanjem vrednosti CO₂ in O₂ se poveča oksidativni učinek.

Najpomembnejše lastnosti zaščitne sestavine plina:

- argon (Ar): inertni plin, nima nobene reakcije z materialom; je težji od zraka, ima sposobnost ioniziranja, omogoča optimalen vžig in tok izgorevanja v obloku;
- ogljikov dioksid (CO₂): je težji od zraka, z oksidativnim učinkom na dodajni material se oblikujejo MnO in SiO₂ in se kažejo kot varilna žlindra. Težko ionizira, kar pomeni, da omogoča visoko napetost pri izgorevanju v obloku in velik prenos toplote v osnovni material. V obloku ločen CO₂ pomaga povečati prenos toplote v talino in s tem izboljša prodor dodajnega materiala v osnovni material. Zmanjša se tudi možnost nastanka por;
- O₂ (kisik) ima močan oksidacijski vpliv na material. Električni oblok je stabilen, površinska napetost taline se zmanjša, manj je obrizgov in površina zvara zelo gladka. Talina je redko tekoča in se nagiba, predvsem pri varjenju navzdol k tečenju pred električni oblok in tako omogoča nastajanje zvarnih zlepov.

S pomočjo zgoraj navedenih posameznih komponent plinov se za MAG-M varjenje uporabljajo mešanice zaščitnih plinov, kot je navedeno v Tabeli 19.

Tabela 19: Mešanice zaščitnih plinov po EN ISO 14175:2008 (D)

simbol		Komponente plinov volumen–procent (nominalno)					
Glavna skupina	Pod-skupina	Oksidacijske		inertne		redukcijske	Počasno odzivne
		CO ₂	O ₂	Ar	He	H ₂	N ₂
I	1			100			
	2				100		
	3			ostalo	0,5≤He≤95		
M1	1	0,5≤CO ₂ ≤5		ostalo ^a		0,5≤H ₂ ≤5	
	2	0,5≤CO ₂ ≤5		ostalo ^a			
	3		0,5≤O ₂ ≤3	ostalo ^a			
	4	0,5≤CO ₂ ≤5	0,5≤O ₂ ≤3	ostalo ^a			
M2	0	5≤CO ₂ ≤15		ostalo ^a			
	1	15≤CO ₂ ≤25		ostalo ^a			
	2		3≤O ₂ ≤10	ostalo ^a			
	3	0,5≤CO ₂ ≤5	3≤O ₂ ≤10	ostalo ^a			
	4	5≤CO ₂ ≤15	0,5≤O ₂ ≤3	ostalo ^a			
	5	5≤CO ₂ ≤15	3≤O ₂ ≤10	ostalo ^a			
	6	15≤CO ₂ ≤25	0,5≤O ₂ ≤3	ostalo ^a			
	7	15≤CO ₂ ≤25	3≤O ₂ ≤10	ostalo ^a			
M3	1	25≤CO ₂ ≤50		ostalo ^a			
	2		10≤O ₂ ≤15	ostalo ^a			
	3	25≤CO ₂ ≤50	2≤O ₂ ≤10	ostalo ^a			
	4	5≤CO ₂ ≤25	10≤O ₂ ≤15	ostalo ^a			
	5	25≤CO ₂ ≤50	10≤O ₂ ≤15	ostalo ^a			
C	1	100					

^a za to razdelitev se lahko argon (Ar) delno ali popolno nadomesti s helijem (He)

Vir: (Standard SIST EN ISO 14175:2008, 2008)

V podjetju Palfinger se uporablja mešanica zaščitnih plinov M21 z 18 % CO₂ in 82 % Ar za ročno varjenje, na avtomatiziranih procesih pa M20 z 10 % CO₂ in 90 % Ar.

Uporaba le-teh se je izkazala kot najbolj gospodarna mešanica plina, saj se z njimi dosega najboljše rezultate zvarnih spojev v razredu »B« v skladu s standardom SIST EN 5817:2014.

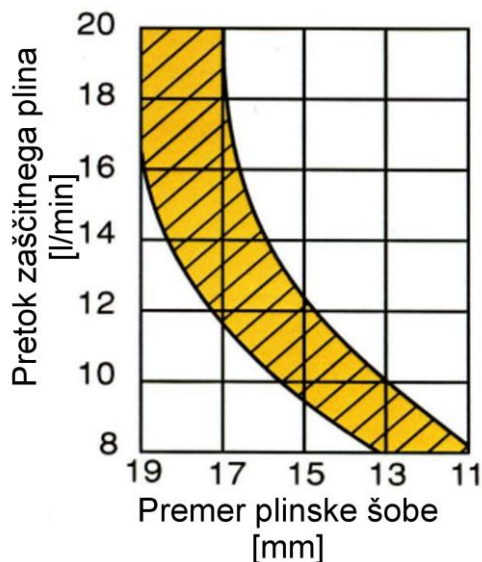
Poleg pravilne izbire mešanice zaščitnih plinov je potrebno izbrati tudi pravilno nastavitve količine pretoka zaščitnega plina in varilnih parametrov.

Kot je že v prejšnjem poglavju omenjeno, da ne pride do nepravilnosti v zvaru, mora biti pretok zaščitnega plina v ustreznih mejah glede na premer dodajnega materiala in notranji premer plinske šobe.

To se lahko izračuna po t. i. Faustovi enačbi (3.8):

$$\text{Pretok plina} = 10 \times \text{premer žice [l/min]} \quad (3.8).$$

Ali se razbere z diagrama Slika 17:



Slika 17: Diagram določitve pretoka zaščitnega plina

Vir: (Dipl.Ing. Geiss, 1993)

Nastavitev varilnih parametrov pa pomeni, da je potrebno nastaviti pravilno razmerje med tokom in napetostjo, da se doseže stabilen oblok. Samo v tem primeru je omogočeno kakovostno varjenje. Vsakemu varilnemu aparatu s svojo krivuljo napetosti pripada ustrezna višina toka »I«. Pri varjenju jeklenih konstrukcij se lahko krivulja napetosti s pravilno izbranim tokom spreminja s hitrostjo pomika dodatnega materiala v [m/min].

Pomembna dejavnika, ki vplivata na vrsto električnega obloka in izbiro nastavitev parametrov, sta mešanica zaščitnega plina in premer dodatnega materiala, ki omogočata različne vrste obloka.

Medtem ko se v čistem CO₂ zaščitnem plinu ustvarita samo dve vrsti stabilnega obloka, lahko mešanice omogočajo še druge, ki imajo kar nekaj prednosti, kar se tiče hitrosti odtaljevanja dodatnega materiala in prehoda odtaljenih kapljic. Kar pa seveda vpliva na količino odtaljenega dodatnega materiala v procesu varjenja.

Vrste obloka glede na vplive zaščitnega plina, dodatnega materiala in varilnih parametrov se lahko razbere iz spodnjih tabel 20, 21 in 22.

Tabela 20: Vrste varilnih oblokov

Vrsta obloka	Prehod materiala	Napetost [V]	Kratka oznaka*
Kratki oblok	Fino kapljičast v kratkem stiku ~70 kapljic v sekundi	~ 13–21	k
Prehodni oblok	Fini – grobi v kratkem stiku 100–150 kapljic v sekundi – ni priporočljiv	~ 20–25	ü
Pršeči oblok	Fino kapljičast, brez kratkega stika, 100–300 kapljic v sekundi (samo v mešanicah, bogatih z Ar > 75 %)	> 25	s
Dolgi oblok	Grobo kapljičast v kratkem stiku ~100 kapljic v sekundi – ni priporočljiv	> 20	l
Pulzni oblok	Samo s stroji, ki omogočajo impulzno varjenje. Število kapljic nastavljivo s frekvenco, brez kratkega stika (št. kapljic odvisno od frekvence impulza v sekundi).	~ 30–40 >50Hz	p
* Kratka oznaka po standardu DIN 1910, ki je še vedno v uporabi			

Vir: (Dipl.Ing. Geiss, 1993)

Kratek oblok (kratkostičen) z nizko porabo energije je namenjen predvsem za varjenje korenov in s tem premostitev materialov v zvarnih žlebihi. Uporaben je za varjenje v vseh položajih.

Prehodni oblok, ki nastane s povečano napetostjo, je nestabilen, saj se mešata fini in grobi prehod kapljic, zato se ga pri varjenju ne uporablja. Povzroča veliko obrizgov zaradi občasnega grobo-kapljičastega odtaljevanja. V praksi se lahko tako ugotovi, da obstaja razlika v nastavitvi na področju med kratkim in pršečim oblokom (varilec mora biti dovolj dobro usposobljen, da lahko ugotovi razliko in izvede varjenje v zahtevanem kakovostnem razredu zvarnega spoja).

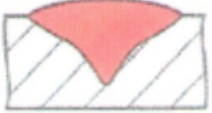
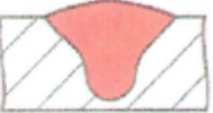
Pri uporabi pršečega obloka skoraj ni obrizgov. Uporaben je za visoke hitrosti odtaljevanja dodatnega materiala in varjenja v horizontalnem položaju, sočelnih in kotnih zvarov ter za popolno avtomatizirane postopke z avtomati in roboti.

Impulzni oblok je sestavljen iz osnovnega in impulznega toka, tako se pri vsakem impulzu odtali kapljica dodatnega materiala v talino. Prehod kapljic brez kratkega stika, tako tudi pri nizkem efektivnem toku ni obrizgov. Namenjen je predvsem za varjenje tankih pločevin in natančno izvedbo velikosti zvarov (z razliko od varjenja v pršečem obloku, ki je trenutno najbolj ekonomičen postopek MAG varjenja, je varjenje v pulznem obloku celo do 30 % počasnejše). Uporaben je za visoke zahteve kakovosti zvara in za varjenje v skoraj vseh položajih.

Od vrste postopka je odvisno, s katero vrsto obloka se bo postopek varjenja izvedel, pri tem pa je potrebno upoštevati:

- vrsto (kakovost) osnovnega in dodajnega materiala,
- obliko zvarnega žleba,
- debelino osnovnega materiala,
- položaj varjenja,
- nastavitve varilnih parametrov.

Tabela 21: Vpliv zaščitnega plina na kakovost zvara pri MAG postopku varjenja nelegiranih jekel.

Vpliv na	Vrsta zaščitnega plina		
	Ar + 18 % CO ₂ (M21)	Ar + 8 % O ₂ (M22)	CO ₂ (C)
Globina uvara Širina uvara			
Kakovost površine	Fino luskava	Zelo fino luskava	Grobo luskava
Škajavost	Mala	Srednja	Velika
Obrizganost	Mala	Zelo mala	Povečana
Poroznost	Mala	Srednja	Zelo mala
Oblike obloka	Kratek oblok Dolgi oblok Pršeči oblok	Kratek oblok Dolgi oblok Pršeči oblok	Kratek oblok Dolgi oblok

Vir: (Dipl.Ing. Geiss, 1993)

Tabela 22: Vpliv premera dodatnega materiala in varilnih parametrov na vrsto obloka

Premer dodatnega materiala	Pršči oblok		Prehodni oblok		Kratki oblok	
	I [A]	U [V]	I [A]	U [V]	I [A]	U [V]
0,8 mm	140–180	23–28	110–150	18–22	50–130	14–18
1,0 mm	180–250	24–30	130–200	18–24	70–160	16–19
1,2 mm	220–320	25–32	170–250	19–26	120–200	17–20
1,6 mm	260–390	26–34	200–300	22–28	150–200	18–21
Uporaba:	Srednje debela in debela pločevina (polnilni varki, kotni vari v horizontalnem položaju)		Srednje debela pločevina – horizontalni eventualno prisilni položaj PG		Tanke pločevine v vseh položajih srednje in debele pločevine v prisilnih položajih, varjenje korenskih zvarov	

Vir: (Dipl.Ing. Geiss, 1993)

3.9 Dodajni materiali

Izbira dodatnega materiala pri varjenju fino zrnatih materialov je odvisna od lastnosti osnovnega materiala. Pomeni, da morajo lastnosti čistega zvara dosegati minimalne zahteve lastnosti osnovnega materiala. Tako se ločijo standardni materiali z mehanskimi lastnostmi do kvalitete S960 in nestandardni materiali z $R_m > 960 \text{ [N/mm}^2\text{]}$.

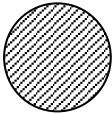
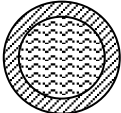
Obstajajo dodatne zahteve za dodajni material, ki vplivajo na kakovost zvarnih spojev:

- natančen (kalibriran) premer in gladka površina za doseganje konstantne hitrosti pomika dodatnega materiala skozi pogonske mehanizme (gladek pomik omogoča konstantne varilne parametre),
- ozka toleranca legirnih elementov z majhno vsebnostjo fosforja (P) in žvepla (S),
- dobro varivost omogoča omejena visoka vsebnost legirnih elementov,

- nujna zaščita pred korozijo s tanko bakreno prevleko – zaradi mogočega napačnega skladiščenja, in boljša prevodnost toka med žico in kontaktno cevjo (šobo v gorilniku),
- nizka vsebnost vodika.

Za MAG varjenje se ločita po standardih dve vrsti dodatnih materialov:

Tabela 23: Vrste dodatnih materialov za MAG varjenje

Oblika	Naziv	Oznaka po standardu SIST EN ISO 16834:2012	Trgovska oznaka
	Masivne žice s premeri od 0,6 do 2,4 mm	G 89 6 M21 Mn4Ni2CrMo G 89 5 M21 Mn4Ni2,5CrMo	UNION X90 BÖHLER X96
	Polnjene – strženske žice s premeri od 1,0 do 1,2 mm	po standardu SIST EN ISO 17632-A:2016 SIST EN ISO 18276:2017 T 89 4 Z M M 1 H5 T 89 4 Mn2NiCrMo M M21 1 H5	Trgovska oznaka MEGAFILL 1100 M

Vir: (Standard SIST EN ISO 16834:2012, 2012; Standard SIST EN ISO 17632:2016, 2016; Böhler welding, 2013; Standard SIST EN ISO 18276:2017, 2017; Data sheed MEGAFILL 1100M, 2018)

Zahteve določajo pravilno skladiščenje kolotov žice, da se prepreči korozija (zaradi kondenza) in umazanost površine žice (v internih navodilih obvezno delovno navodilo o skladiščenju, opremi skladišča z merilnimi instrumenti za merjenje vlažnosti in temperature zraka), določene v standardu ali podatkovnih listih proizvajalca.

Ob uporabi aktivnih zaščitnih plinov pri varjenju fino zrnatih in ostalih konstrukcijskih jekel je zaradi oksidacije vedno nekaj izgub legirnih elementov. Za nadomestilo izgub imajo dodatni materiali za varjenje nekaj višje vsebnosti legirnih elementov. Za materiale z natezno trdnostjo, višjo od 960 [N/mm²], dodatni materiali v obliki masivne žice ne obstajajo. Zato se pri varjenju upoštevajo priporočila proizvajalca materiala, konstrukterja, naročnika in standarda, ki zahtevajo izvedbo delovnih prob pred pričetkom izvajanja varilskih del.

S kratkimi ohlajevalnimi časi, ustreznimi vnosi toplote in pravilnim mešanjem osnovnega in dodatnega materiala lahko trdnosti (mehanske lastnosti) nekoliko narastejo. Koliko in do katere vrednosti, se ugotovi samo z izdelavo ustreznega delovnega preizkusa ali verifikacije postopka varjenja v skladu z enim od standardov SIST EN ISO 15607:2004: Popis in kvalifikacija varilnih postopkov za kovinske materiale – Splošna pravila (ISO 15607:2003), do SIST EN ISO 15614-1:2017, kar je tudi eden od ciljev, zadanih v tem diplomskem delu. Zagotoviti

ustreznost postopka varjenja na materialu S960QL in s tem ustrezno kakovost zvarjenja iz omenjenega materiala.

Za doseganje boljših rezultatov je metoda uporabe polnjenih žic vsekakor dobrodošla, čeprav ima kar nekaj slabosti, tako kot masivna žica. Največja slabost uporabe polnjene žice je seveda cena njene izdelave. V Evropi se zadnje čase vse bolj uporablja kljub njeni slabosti v stroških izvedenega zvara na meter dolžine. Ima pa zato veliko več dobrih ostalih lastnosti, kot so mehanske lastnosti čistega zvara, boljši in lažji vnos dodatnega materiala v talino, hitrejše varjenje, zmanjšanje priprave zvarnega žleba, preprečuje klasične napake zvarnih zleпов. Vse te prednosti so odvisne od vrste polnila in so podane v standardu SIST EN ISO 17632:2016: Dodatni materiali za varjenje – Polnjene žice za obločno varjenje nelegiranih in drobnozrnatih jekel po MIG/MAG – Razvrstitev (ISO 17632:2015) – Tabela 5.

Tabela 24: Vrste polnil za polnjeno žico in simboli

Simbol	Lastnosti	Tip zvara	Zaščitni plin	Vrsta polnila
R	Rutil – počasi ohlajujoča se žindra	Eno- in večvarkovno varjenje	Potreben	Polnila, ki tvorijo žindro
P	Rutil – hitro ohlajujoča se žindra	Eno- in večvarkovno varjenje	Potreben	
B	Bazična	Eno- in večvarkovno varjenje	Potreben	
M	Metalno polnilo	Eno- in večvarkovno varjenje	Potreben	Polnilo s kovinskim prahom
V	Rutil ali bazično/fluoridna	Eno- in večvarkovno varjenje	Ni potreben	Samovarovalna polnila
W	Bazično/fluoridna – počasi ohlajujoča se žindra	Eno- in večvarkovno varjenje	Ni potreben	
Y	Bazično/fluoridna – hitro ohlajujoča se žindra	Eno- in večvarkovno varjenje	Ni potreben	
S	Drugi tipi	-	-	Drugo

Vir: (Standard SIST EN ISO 17632:2016, 2016)

Polnila, ki tvorijo žlindro, imajo enako funkcijo kot plašč pri elektrodah za REO. Prehod kapljic pri odtaljevanju ima ugoden vpliv na talino, tako da ustvari žlindro kot zaščito, obenem pa sestavine polnila izboljšajo lastnosti materiala čistega zvara. V primerjavi z masivno žico je rezultat polnjene žice s polnili, ki tvorijo žlindro, neugoden zaradi ustvarjanja žindre na zvaru, ki jo je potrebno odstraniti.

Pri samozaščitnih polnilih prevzame polnilo žice nalogo zaščitnega plina. To nam koristi ob postopkih varjenja na prostem. Opozoriti je potrebno, da ni popolne zamenjave normalnega varjenja v zaščiti plina.

Metalna oziroma kovinska polnila v glavnem nadomeščajo izgorjene legirne elemente in izboljšujejo kakovost čistega zvara. Povečajo možnost nastavitve parametrov in s tem višje hitrosti odtaljevanja dodatnega materiala. Omogočajo varjenje v zvarnih žlebih z manjšim kotom priprave. Povečajo možnost uporabe prostega konca žice, in kot je že omenjeno, izboljšajo mehanske lastnosti čistega zvara. Uporaba teh žic je zelo priporočena pri večvarkovnem varjenju, saj je teme zvara razen majhnih delov žindre zaradi nečistoč popolnoma čisto.

Pri varjenju finožrnatih jekel S960QL se v podjetju Palfinger d.o.o. uporablja dodatni material Böhler X90 z oznako v skladu s standardom SIST EN ISO 16834:2012: Dodatni materiali za varjenje – Žične elektrode, žice, palice in čisti vari za varjenje visokotrdnostnih jekel v zaščiti plinov – Razvrstitev (ISO 16834:2012), »G 89 6 M21 Mn4Ni2CrMo«, po internem delovnem navodilu za izbiro dodatnih materialov (AA-PROD-45M: Delovno navodilo – Varilni parametri za MAG-varjenje). To je dodatni material z minimalno natezno trdnostjo 890 [N/mm²]. S tem materialom se dosega varjeni spoji z mehanskimi lastnostmi, ki ustrezajo materialom S960QL.

Pri preizkusih varilnih vzorcev so se pri nateznih preizkusih skoraj vedno pojavile deformacije v osnovnem materialu precej daleč od zvara.

V primeru, da bi uporabili finožrnato jeklo višje kakovosti, bi bilo potrebno zvarne spoje namestiti v neobremenjena oziroma manj obremenjena področja napetosti.

4 VARJENJE IN PREISKUS VZORCA VP0118 P/BK

4.1 Izbira uporabljenega osnovnega, dodajnega in pomožnih materialov

Za izvajanje preizkusov tega diplomskega dela se uporabi dodajni material proizvajalca Voestalpine Böhler Welding z oznako UNION X- 90 s premerom 1,2 mm, odobren s strani DB – številka odobritve 42.132.12 (Priloga 1) in potrdilo o kakovosti – certifikat 3.1 (Priloga 2). Po podatkovnem listu proizvajalca je dodajni material uporaben za varjenje teh materialov med sabo in z višje kakovostnimi osnovnimi materiali.

Zaradi področja veljavnosti potrditve varilnega postopka je preizkušanca potrebno zavariti v skladu z zahtevami standarda SIST EN ISO 15614-1:2017, s prevaritvijo korena. Zato je v pWPS-u predviden »V-zvar« s kotom priprave zvarnega roba 25 ° in topim robom 1 mm (Priloga 3 – pWPS 0118 P/BK).

Kot osnovni material je izbran material proizvajalca SIJ-Acroni d.o.o. Jesenice z oznako S960QL (Št. Mat. 1.8933) in z debelino 15 mm (Priloga 4 – potrdilo o kakovosti 3.1), iz katerega so bili izdelani vzorci z dimenzijami (Slika 18).

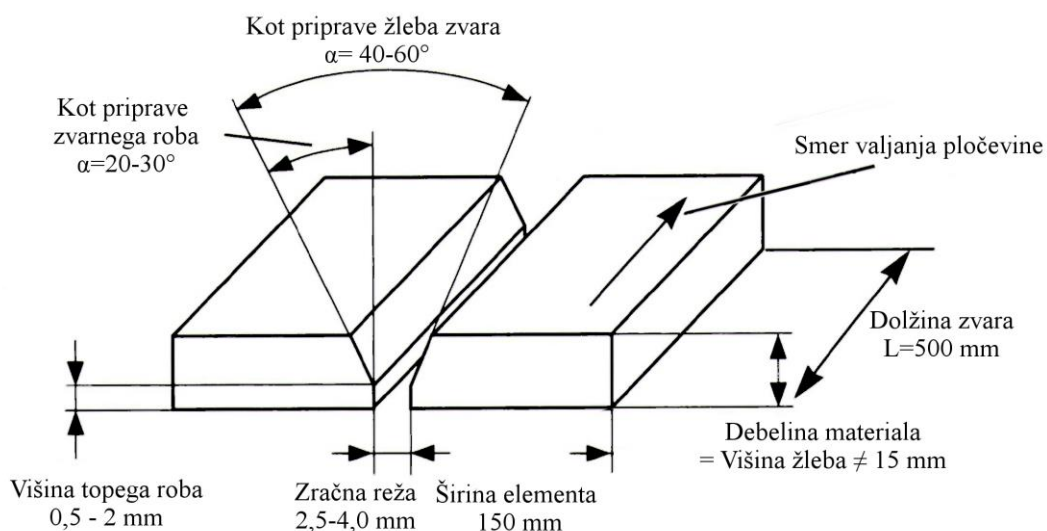
Kot pomožni material so uporabljeni elementi z dimenzijo 50 x 50 mm iz istega materiala kot vzorci za varjenje. Pripravljeni deli se uporabijo za vtečni in iztečni talon pri spenjanju vzorcev za zvarni žleb (Slika 19).

4.2 Priprava vzorca VP0118 P/BK

Posamezni deli za sestavo vzorca so izdelani po vpeljanem tehnološkem procesu podjetja, v kakovosti zahtev internih standardov in predpisov. Oblika in velikost posameznih elementov ustrezata zahtevam SIST EN ISO 15614-1:2017 in internim predpisom podjetja. S takšnim procesom dela je mogoče preverjati potek in kakovost priprave elementov v redni proizvodnji, kar se je z izvedbo vzorca tudi dokazalo.

Površine rezov so usklajene z zahtevami, prav tako kotnost in dimenzije izdelanih delov v razredu kakovosti za strojogradnjo splošne zahteve SIST EN ISO 9013:2017 z oznako ISO 9013-332.

Zahteve po izdelavi in označevanju prikazuje naslednja skica (Slika 18).

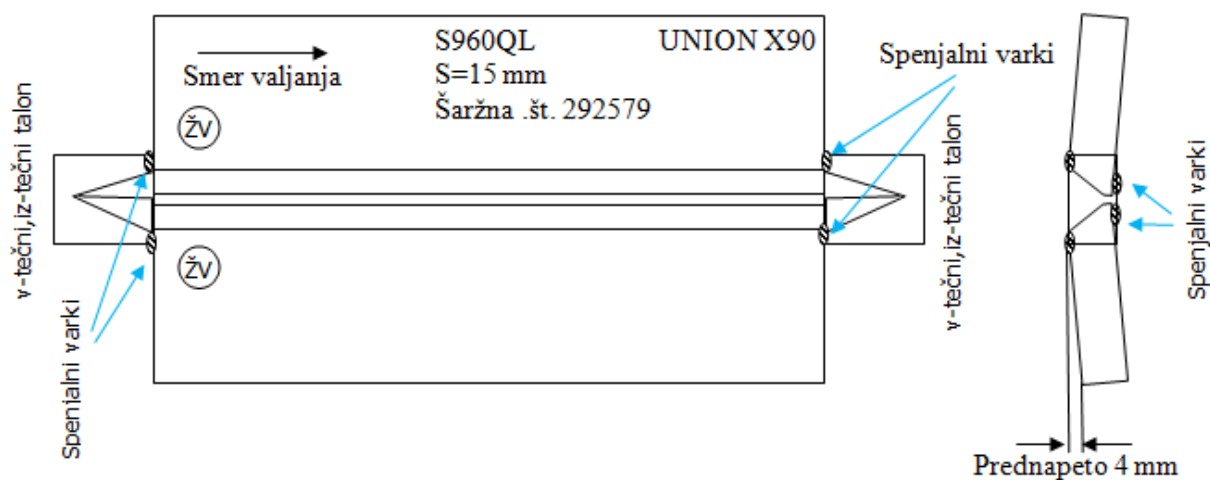


Slika 18: Skica priprave sestavnih elementov vzorca VP 0118 P/BK

Vir : (Lasten vir, 2018)

4.3 Spenjanje vzorca VP 0118 P/BK in priprava za varjenje

Spenjanje vzorca se je opravilo po enakem postopku, kot se izvaja sestava in varjenje zvarjencev v redni proizvodnji. Pri tem so se upoštevala navodila za spenjanje in v praksi uporabljeni načini – dolžina spenjalnega varka 10 mm in velikost max. 3 mm. Oba elementa je bilo potrebno zaradi pričakovanih deformacij in skrčkov v zvaru prednapeti za približno 4 mm v pričakovanju, da bosta po varjenju v isti ravnini. Za premostitev obeh delov se pusti zračna reža na začetku predvidenega varjenja na 2,5 mm, na koncu pa skoraj 4 mm. Kot prikazuje skica (Slika 19), sta se za sestavo uporabila vtečni in iztečni talon.



Slika 19: Skica priprave vzorca za varjenje

Vir: (Lasten vir, 2018)

Upoštevala se je tudi zahteva iz standarda SIST EN ISO 3834-1–6 del, ki predpisuje, da je potrebno opraviti kontrolo pred, med in po varjenju. Po opravljeni kontroli sestave in spenjanja se je pripravilo in ustrezno opremilo delovno mesto za varjenje.

4.4 Varjenje vzorca VP 0118 P/BK

Na delovno mesto varjenja je bilo potrebno namestiti delovno mizo in na njo odložiti preizkusni vzorec tako, da ni bil v stiku s površino mize. Pripraviti je bilo potrebno ustrezno orodje – gorilnik za predgrevanje in vsa potrebna merilna sredstva, ki so bila potrebna za nadzor in kontrolo pred, med in po varjenju. K temu se je dodala še dodatna zaščita zaradi osebne zaščite pred sevanjem, saj je bilo potrebno merjenje časa in temperature vsakega posameznega varka.

Po pripravi delovnega mesta, orodja in opreme se je delo nadaljevalo v skladu z zahtevami za izvajanje varjenja za potrditev varilnega postopka tako imenovane verifikacije procesa varjenja po MAG 135 na pločevini. Opravila se je tudi kontrola priprave zvarnega žleba (Slika 20), preverilo spenjanje in namestitve vtečnih in iztečnih talonov in vpisali podatki v pripravo poročila o izvajanju varjenja.

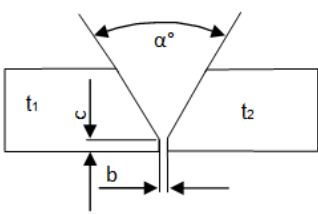
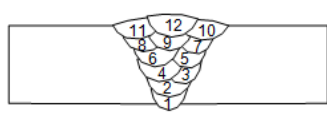
Opraviti je bilo potrebno predgrevanje in zabeležiti temperaturo T_0 ter ustrezno spremljati vse podane zahteve iz pripravljenega dokumenta pWPS 0118 P/BK. Opravila se je primerjava temperature predgrevanja na osnovi tabele predgrevanja osnovnega materiala delovnega navodila PNORM.

Tabela 25: Tabela predgrevanja osnovnega materiala

DEBELINA tmax MATERIAL	t ≤ 8	8 < t ≤ 10	10 < t ≤ 12	12 < t ≤ 15	15 < t ≤ 20	20 < t ≤ 25	25 < t ≤ 30	30 < t ≤ 35	35 < t
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
S235, S275	Temperatura okolice (To = 20°C)								100°C
S355, S380, S355	Temperatura okolice (To = 20°C)						100°C	120°C	
S460, S400, S500	Temperatura okolice (To = 20°C)						100°C	120°C	
S690, S700,	Temperatura okolice (To = 20°C)				120°C			150°C	
S S890, S960	Temperatura okolice (To = 20°C)			100°C	120°C		150°C		

Vir: (PALFINGER AG, 2016)

Zaradi debeline vzorca je izbrano varjenje z več posameznimi varki oziroma večvarkovno varjenje, kot je razvidno s skice na Sliki 20.

Skica zvara / Joint Design :				Vrstni red varjenja / Welding Sequences			
	*t ₁	15	α	50°			
	*t ₂	15	α ₁	/			
	*t ₃	/	β	/			
	*b	2,5-3,5	β ₁	/			
	*c	1-1,5					
	*h	/					
	*d	/	n	Št. varkov			
	*a	/	*	mm			

Slika 20: Skica zasnove spoja in zaporedja varjenja

Vir: (Lasten vir, 2018)

Med izvajanjem predgrevanja se je opravil pregled priprave delovnega mesta, ustreznost dodatnega materiala, dokumentov, potrebnih kot dokazilo o ustreznosti uporabe, in priloga zahtevku za izdelavo preizkusa na inštitutu za varjenje.

Po nastavitvi varilnih parametrov in preizkusu ustreznosti nastavitve se je začelo varjenje vzorca. Varjenje je potekalo v skladu s predhodnim navodilom za varjenje pWPS 0118 P/BK. Med varjenjem se je polagala posebna pozornost merjenju temperature osnovnega materiala tik

ob zvarnem mestu med posameznimi varki, meritvami varilnih parametrov in zapisovanjem dejanskih meritev v za to pripravljen obrazec. Po zaključku varjenja sta se odstranila iztečni in vtečni talon. Vzorec je bilo potrebno obrusiti in posneti ostre robove. Ustrezno označen vzorec se je pustil na delovnem mestu, da se je ohladil na temperaturo okolice. Po ohladitvi je vzorec dostavljen v prostor izvajanja neporušne kontrole (NDT), kjer je opravljena vizualna (VT) in magnetna kontrola (MT) na prečne razpoke. NDT preiskave so se vršile enako kot na zvarjencih iz enakega materiala v proizvodnji.



Slika 21: Slika zavarjenega vzorca

Vir : (Lasten vir, 2018)

Po pregledu in izstavitvi poročil o pregledu je bilo potrebno vzorec z ustrezno dokumentacijo dostaviti v tehnološki laboratorij Inštituta za varjenje v Mariboru. Sledili so postopki neporušnih in porušnih preiskav, kot je opisano v nadaljevanju.

4.5 Preiskave na zavarjenem vzorcu VP 0118 P/BK

Preizkušanje obsega neporušne in porušne preiskave, ki morajo biti skladne z zahtevami standarda SIST EN ISO 15614-1:2017. Na zavarjenem vzorcu se opravi vsa NDT kontrola, številke poročila in rezultati se vpišejo v poročilo o preskušanju varilnega postopka (št. 01/18 (D)) (Priloga 5), na osnovi katerega je kasneje izdana potrditev verifikacijskega postopka WPQR (št.: 01/18 (D)) (Priloga 6). Po opravljeni NDT kontroli se zavarjeni vzorec razreže in se pripravijo različni vzorci za preizkušanje (Slika 21).

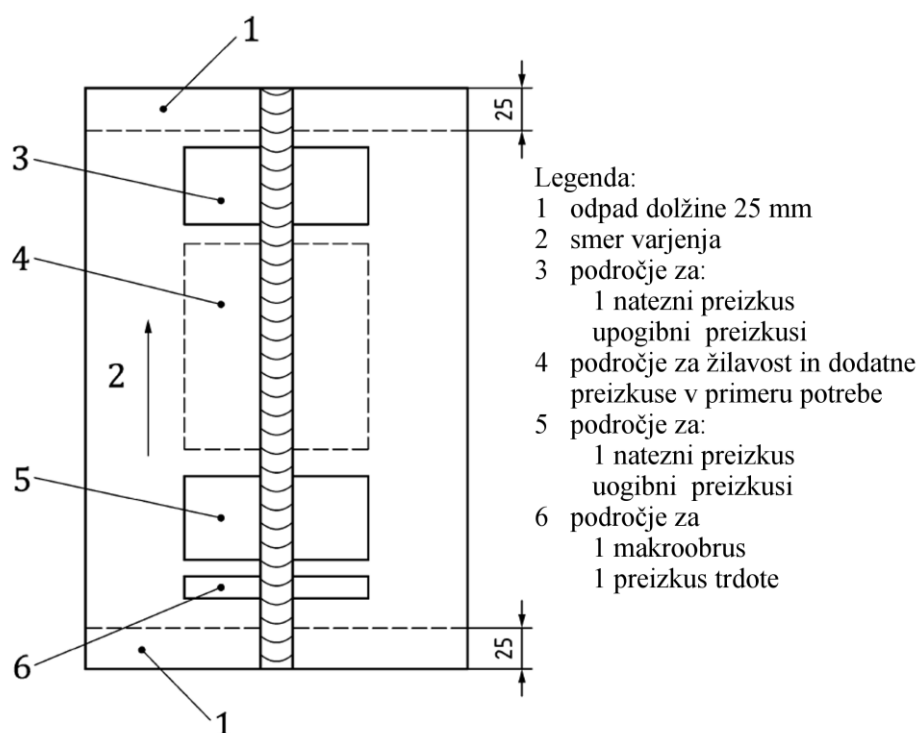
Obseg preizkusov in število vzorcev je določeno po standardu SIST EN ISO 15614-1:2017 in obsega za sočelne zware naslednje posamezne operacije:

➤ neporušne metode:

VT	100-% vizualna preiskava,
MT ali PT	100-% preiskava z magnetnim praškom ali penetrantom za površinske razpoke,
UT	100-% ultrazvočna preiskava,
RT	100-% radiografska preiskava;

➤ porušne metode:

natezni preizkus	2 preizkušanca,
upogibni preizkus	2 preizkušanca preko temena zvara + 2 preizkušanca preko korena zvara,
preizkus udarne žilavosti (Charpy)	2 kompleta po 3 preizkušanci,
preizkus trdote po zahtevi	1 preizkušaneč odvisno od skupine materiala,
makro obrus	1 preizkušaneč.

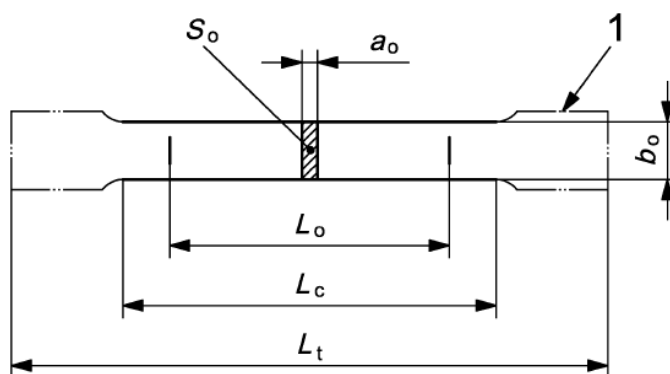


Slika 22: Področja priprave vzorcev za preizkušanje

Vir: (Standard SIST EN ISO 15614-1 : 2017, 2017)

4.5.1 Natezni preizkus

Za izdelavo vzorcev uporabimo samo dovoljeno orodje za žaganje z vodnim hlajenjem in rezkar. Debelina vzorca je enaka debelini osnovnega materiala. Izdelati ga je potrebno po navodilih standardov SIST EN ISO 6892-1:2017: Kovinski materiali – Natezni preskus – 1. del: Metoda preskušanja pri sobni temperaturi (ISO 6892-1:2016) in SIST EN ISO 4136:2013: Porušitveni preskusi zvarov na kovinskih materialih – Prečni natezni preskus (ISO 4136:2012). Za preizkušanje je potrebno izdelati dva preizkušanca z merami, ki so podane v tabeli 3.2 – »Natezni preskus« priloženega poročila (Priloga 5).



Slika 23: Skica izvedbe vzorca za natezni preizkus

Vir: (Standard SIST EN ISO 6892-1:2017, 2017)

Pred začetkom preizkušanja se je z odgovorno osebo laboratorija opravila preveritev ustreznosti izdelave preizkušancev in ostalih parametrov, potrebnih za preizkušanje na trgalnem stroju:

- skladnost dimenzij in izračun presekov je vpisana v tabelo preizkusov – (Poročilo o preskušanju varilnega postopka št. 01/18 (D)),
- označene merilne dolžine, opravljene z označevalnikom,
- pregled vpenjalnih čeljusti na stroju in nastavitvev območja potrebnih sil preizkušanja z odgovorno osebo v tehnološkem laboratoriju,
- na merilni uri trgalnega stroja nastavitvev ničelne točke,
- kontrola temperature prostora (23 °C), pri kateri se je preizkus izvajal.

Ob upoštevanju navodil proizvajalca trgalnega stroja je sledilo vpetje preizkušanca z oznako V1 v čeljusti in pričetek preizkušanja. Za izvedbo se je izbrala metoda B, določena v standardu SIST EN ISO 6892-1:2017 točka 10.3, ob upoštevanju priporočila (metoda B je bila izbrana zaradi ustaljenih postopkov verifikacije varilnih procesov v tehnološkem laboratoriju).

Dobljeni podatki in izmerjene vrednosti so se vpisovali v tabelo priloženega poročila, na osnovi katerega je odgovorna oseba s pomočjo programa na računalniku v končno poročilo vpisala vrsto metode preizkušanja, iz podatkovne baze programa na trgalnem stroju izpisala rezultate ostalih parametrov preizkušanja in jih ustrezno ovrednotila.

Enak postopek je bil uporabljen za preizkušanca z oznako V2. V tabelo rezultatov v poročilu so se vpisale tudi zahteve iz standarda SIST EN ISO 10025-6:2005+A1:2009 in se ustrezno označile z rdečo barvo.



Slika 24: Vzorca nateznega preizkušanja po testiranju

Vir : (Lasten vir, 2018)

Preizkušanje se je izvajalo na univerzalnem stroju za natezne preizkuse materialov in zvarov.



Slika 25: Vpenjalne čeljusti univerzalnega stroja za natezne preizkuse, na katerem je bil preizkus opravljen

Vir: (Lasten vir, 2018)

4.5.2 Upogibni preizkus

Preizkus se je izvajal s strani odgovorne osebe tehnološkega laboratorija v Mariboru. Upoštevati je bilo potrebno zahteve standarda SIST EN ISO 5173:2010: Porušitveno preskušanje zvarnih spojev na kovinskih materialih – Upogibni preskusi (ISO 5173:2009) za upogibne preizkuse zvarov. Za zagotavljanje čim boljših rezultatov je bilo potrebno upoštevati tudi standard SIST EN ISO 7438:2016: Kovinski materiali – Upogibni preskus (ISO 7438:2016) za upogibne preizkuse osnovnih materialov.

Priprava vzorcev in dimenzije:

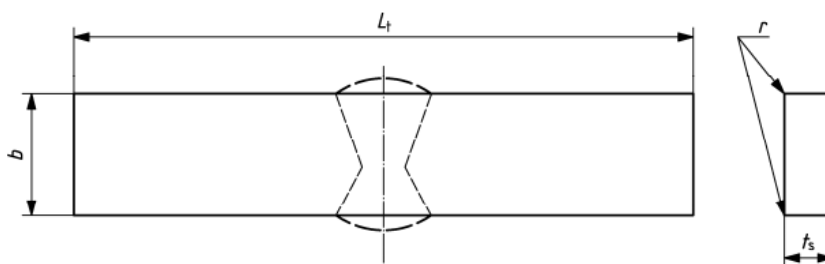
V skladu s planom razreza (Slika 22) je bil vzorec razrezan s tračno vodno hlajeno žago, vzorci za upogibanje pa so bili izdelani v skladu s standardom SIST EN ISO 5173:2010 za metodo bočnega upogibanja z dimenzijami, razvidnimi iz spodnje tabele, in ustrezno označeni.

Tabela 26: Dimenzije vzorcev za upogibni preizkus

Oznaka	Naziv	Dimenzije [mm]
b	Širina vzorca	15
t _s	Debelina vzorca	10
L _t	Dolžina vzorca	300
r	Radiusi obdelave vogalov v področju nateznih obremenitev	2,5–3

Vir: (Lasten vir, 2018)

Uporabljene so bile oznake položajev lege korena in temena zvara. Površine vzorcev in radiusi vogalov v nateznem področju upogiba so se vzdolžno gladko obrusili.



Slika 26: Bočni upogibni preizkus čez sočelni zvar

Vir: (Standard SIST EN ISO 5173:2010 , 2010)

Po zaključku izvedb in pregledu vzorcev je bilo potrebno določiti premer upogibnega trna, razdaljo med valji na matrici in kot upogiba. Pri materialih z raztežkom pri pretrganju $A < 20 \%$ je v skladu s standardom SIST EN ISO 5173:2010 bilo potrebno upoštevati naslednja priporočila:

Določitev premera upogibnega trna:

$$d = \frac{(100 \times t_s)}{A} - t_s = \frac{(100 \times 10)}{10} - 10 = 90 \text{ [mm]}, \quad (6.1)$$

kjer je

d – premer upogibnega trna [mm],

t_s – debelina upogibnega vzorca [mm],

A – raztezek pri pretrganju osnovnega materiala (duktilnost);

Izračun in določitev razdalje med valji matrice:

$$l = d + 2 \times t_s + 3 = 90 + 2 \times 10 + 3 = 113 \approx 120 \text{ [mm]}, \quad (6.2)$$

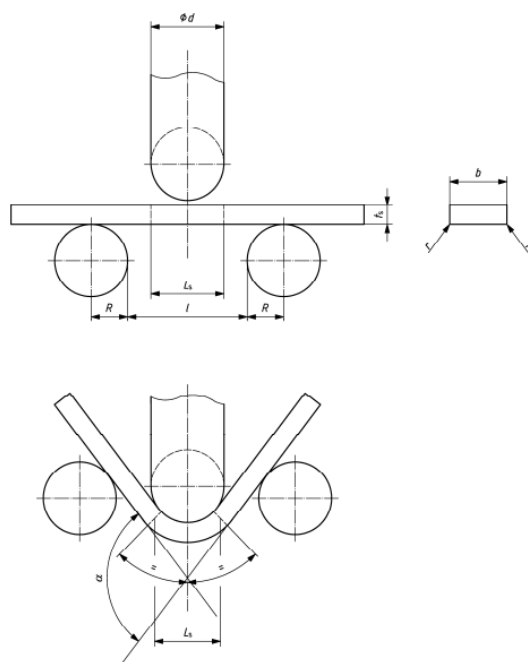
kjer je

l – razdalja med valji matrice [mm],

d – premer upogibnega trna [mm],

t_s – debelina upogibnega vzorca [mm].

Kot upogiba je v skladu s standardom dosežen, ko vzorec pade skozi valje matrice. Kar pomeni, da je določen kot upogiba $\alpha = 180^\circ$.



Slika 27: Shematski prikaz priprave in bočnega upogibanja vzorca sočelnega zvara

Vir: (Standard SIST EN ISO 5173:2010 , 2010)

Preizkušanje je potekalo po določilih standarda. Izmerjene vrednosti so se vpisale v pripravljen dokument.



Slika 28: Upognjeni vzorci po preizkušanju

Vir: (Lasten vir, 2018)

4.5.3 Preizkus žilavosti z zarezo po Charpyju

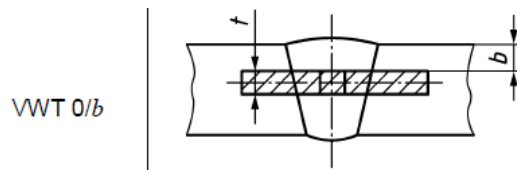
Preizkus udarne žilavosti se izvede po metodi »ISO-V Impact test«, kot ga nekateri imenujejo, ali tako imenovani metodi po Charpyju, po katerem se imenuje tudi kladivo, s katerim se testi izvajajo. Preizkus udarne žilavosti na sočelnih zvarih se izvede glede na lego in temperaturo preizkušanca. Zmogljivost kladiva je standardna – 300 J. Za doseganje čim natančnejših rezultatov je potrebna natančna priprava vzorcev, zato je potrebno upoštevati standarde, ki

predpisujejo obliko in natančnost izdelave preizkušanca. Pri preizkusu sta se upoštevala standarda SIST EN ISO 148-1:2017 in SIST EN ISO 9016:2012: Porušitveni preskusi zvarov na kovinskih materialih – Udarni preskusi – Položaj preskušanca, smer zareze in preiskava (ISO 9016:2012).

Izdelava vzorcev:

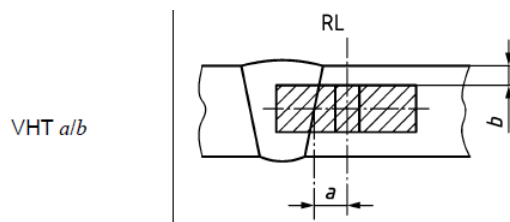
Po navodilih odgovorne osebe v laboratoriju se je izdelalo 6 (šest) vzorcev v skladu s standardom SIST EN ISO 9016:2012.

Na tračni vodno hlajeni žagi so se odrezali vzorci na mero z dodatkom za končno obdelavo.



Slika 29: Skica lokacije vzorcev za preizkus žilavosti V1- 3

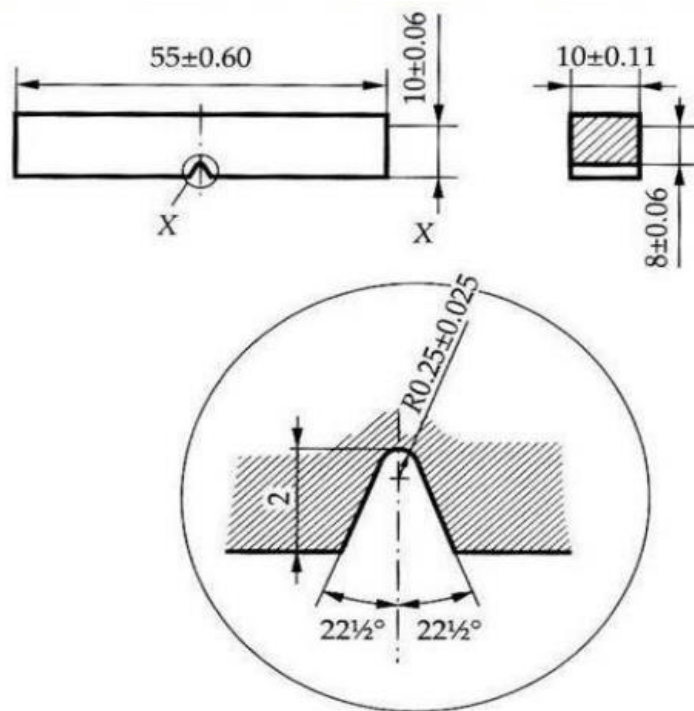
Vir: (Standard SIST EN ISO 9016:2012, 2013)



Slika 30: Skica lokacije vzorcev za preizkus žilavosti V4- 6

Vir: (Standard SIST EN ISO 9016:2012, 2013)

Po razrezu na žagi so se vzorci obdelali na mehanski obdelavi v skladu s standardom z geometrijsko obliko zareze »V« in merami, izbranimi iz tabele 2 na strani 16 (Standard SIST EN ISO 148-1:2017, 2017).



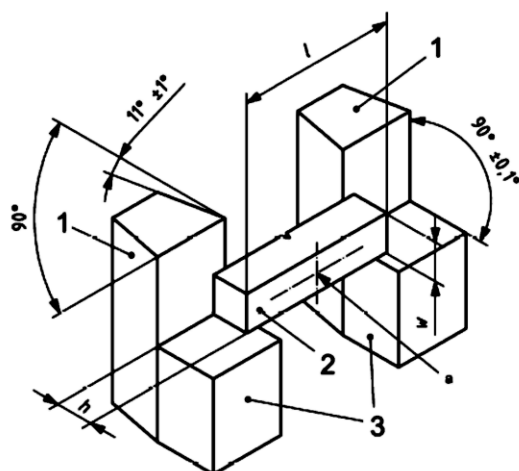
Slika 31: Shema vzorca z V-zarezo za udarno žilavost

Vir: (Madhusudhan D, 2018)

Sledila je kontrola oznak, dimenzij in izdelave V-zareze. Končne mere vzorcev so se vpisale v tabelo rezultatov. Vzorci so glede na položaj dobili oznake od V1 do V6, kot je razvidno iz Tabele 3.4 »Preskus žilavosti« v poročilu (Priloga 5).

Priprava na preizkušanje:

Ker se v podjetju pogosto pojavljajo zahteve za preizkus udarne žilavosti pri $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, se je tudi na tem preizkušanju uporabila največkrat zahtevana temperatura preizkušanja. Vzorci so se ohladili s pripravo, priključeno na jeklenko CO_2 , iz katere se je pridobil suhi led. Z ustreznimi zaščitnimi rokavicami in samocentrirnimi kleščami so se vzorci, ko so dosegli ustrezno temperaturo $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, vzeli iz ohlajevalne posode in se položili na podpore za vzorec na stroju.



1 - podpore v razdalji 40 mm

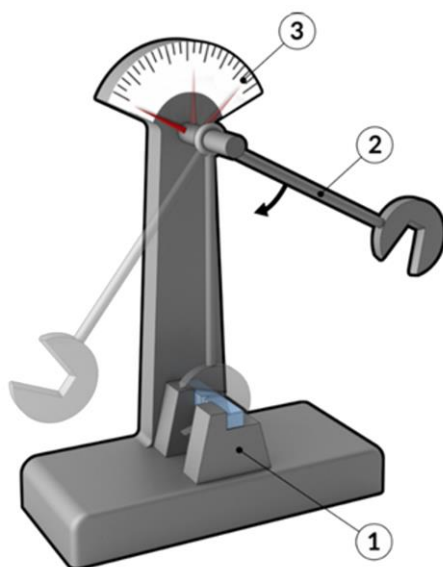
2 - normalni preizkušaneec

3 - spodnji deli podpore za vzorec

Slika 32: Shema podpore na stroju za preizkušanje udarne žilavosti

Vir: (Standard SIST EN ISO 148-1:2017, 2017)

Charpy nihajno kladivo se je sproščalo z nastavljene višine na stroju, pri kateri je kladivo ob udarcu na vzorec opravilo udarno delo 300 J. Na skali se je odčital rezultat posameznega vzorca in se ročno vpisal v tabelo delovnega lista za zajemanje podatkov v laboratoriju. Po končanem preizkušanju vseh šestih vzorcev je sledil izračun povprečnih vrednosti za kasnejši vpis podatkov v Tabelo 3.4 končnega poročila (Priloga 5).



1 - Podpora v razmaku 40 mm

2 - Kladivo

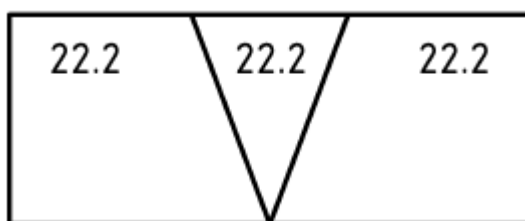
3 - Skala

Slika 33: Shema Charpy udarnega kladiva

Vir: (Manufacturing guide - Charpy impact test, 2018)

4.5.4 Makroskopska preiskava – Makro obrus

Po planu razreza zavarjenega vzorca (Slika 22 v poglavju 4.5 tega dela) sta se izdelala preizkusna vzorčka za izdelavo makro obrusa v skladu s standardom SIST EN ISO 17639:2013: Porušitveni preskusi zvarov na kovinskih materialih – Makroskopska in mikroskopska preiskava zvarov (ISO 17639:2003). Vzorca sta bila odrezana z vodno hlajeno tračno žago z dodatkom za končno obdelavo. Željena stran pregleda se je obrusila do gladko čiste površine in pripravila za jedkanje.



Slika 34: Shema priprave vzorca za makroskopsko preiskavo po standardu

Vir: (Standard SIST EN ISO 17639:2013, 2013)

Izmerjena temperatura v laboratoriju med izvajanjem preizkušanja je bila 23 °C. Uporabilo se je sredstvo za jedkanje Nital, ki je omogočilo pogled na čiste linije posameznih varkov in TVP. Kot prikazuje Slika 35, napak v zvaru in TVP ni bilo zaslediti, zato se je površina fotografirala za poročilo.



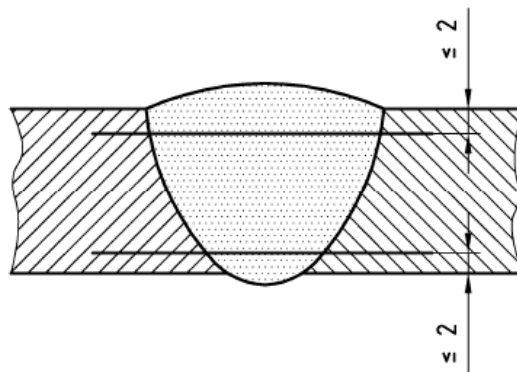
Slika 35: Fotografija makroskopske preiskave obrusa EN ISO 17639 – A – E – 22.2 – 22.2 / Nital

Vir : (Lasten vir, 2018)

4.5.5 Merjenje trdote po Vickersu HV10

Po opravljeni makroskopski preiskavi se vzorce uporabi za meritve trdote v skladu z zahtevami standarda SIST EN ISO 15614-1:2017. Meritve so se izvajale v skladu s standardi SIST EN ISO 6507-1: 2018: Kovinski materiali – Preskus trdote po Vickersu – 1. del: Preskusni postopek

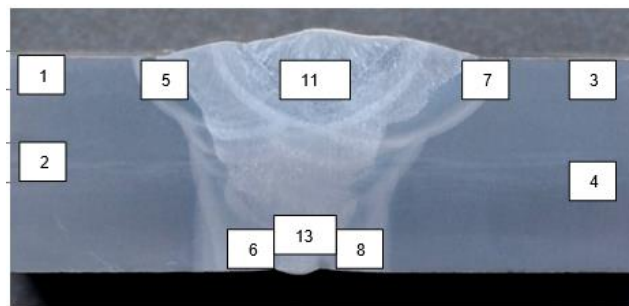
(ISO 6507-1:2018) in SIST EN ISO 9015-1:2012: Porušitveni preskusi zvarov na kovinskih materialih – Preskušanje trdote – 1. del: Preskušanje trdote na obločno varjenih spojih (ISO 9015-1:2001).



Slika 36: Skica področja za izvedbo meritev trdote po standardu

Vir: (Standard SIST EN ISO 9015-1:2012, 2012)

Za merjenje sta bila uporabljena vzorca makro obrusa. Kot predvideva standard, so bile meritve izvedene v osnovnem materialu 1 in 2 (4X), v TVP (4X) in zvaru (čisti zvar (1X) in korenu zvara (1X)). Na vseh opisanih mestih so posamezna merjenja ponovljena od 3 do 5-krat. Rezultati so vpisani na interni dokument in v skladu z zahtevami preneseni v poročilo (Priloga 5) v tabelo rezultatov 3.6 – Meritev trdote.



Slika 37: Fotografija obrusa s prikazanimi mesti preizkušanja

Vir: (Lasten vir, 2018)

Izmerjeni rezultati niso presegali dovoljenih vrednosti.

4.5.6 Povzetek rezultatov preizkušanja

Po zbiru vseh delovnih listov posameznih preizkušanj se v obrazec uradnega poročila Instituta za varilstvo Ljubljana – poslovna enota Maribor prepisejo vsi dobljeni rezultati preizkušanja. Odgovorna oseba tehnološkega laboratorija opravi pregled prepisov in v program na računalniku vnese vse dobljene rezultate porušnih in neporušnih preiskav, ki so bile opravljene na zavarjenem vzorcu vzdolžnega sočelnega zvara na materialu S960QL.

Tako je nastalo uradno poročilo za opravljen varilni postopek oziroma poročilo, na osnovi katerega akreditirana institucija lahko izda dokazilo o verificiranju varilnega postopka v podjetju.

5 SKLEP

Nove tehnologije pridobivanja finoizrnatih jekel imajo velik vpliv na spremembe procesov predelave in oblikovanja, to pa zahteva stalno prilagajanje posameznih faz dela, strojne opreme in tehnologije. Pridobivanje dovoljenja za uporabo materialov za v standardih regulirana in neregulirana področja predstavlja pogosto veliko težavo, ki v končni fazi vpliva na pripravo, izdelavo, nadzor in kontrolo, največ pa na časovno dogovorjene ali pogodbeno vezane roke dobave.

Kot vsi kovinski materiali so tudi ta jekla zaradi strukturne gradnje občutljiva na vneseno energijo v procesu varjenja s taljenjem, opisanim v nalogi. Posebna občutljivost na vpliv temperature teh materialov pa zahteva poseben pristop k pripravi dokumentacije in izvajanja preizkusov preoblikovanja in spajanja pred pričetkom izdelave določenih objektov.

Na podlagi pozitivnih rezultatov testiranja vzorca v tehnološkem laboratoriju se izdelajo natančna navodila izvajalcem, ki zahtevajo poučitev o pravilnem ravnanju z razpoložljivimi materiali v proizvodnji. Izbrani postopki in jasna delovna navodila, skladna s posameznimi naročniškimi zahtevami, priporočili standardov in podatkovnih listov, morajo biti na razpolago izvajalcem in imajo neposreden vpliv na kakovost izdelka.

Poznavanje koncepta ohlajevalnega časa med 800 in 500 °C, nastavitve varilnih parametrov, označevanje in sledljivost opravljenih faz dela, poznavanje ocenjevanja kakovosti zvarov, vzdrževanje strojev in orodja, uporaba merilnih sredstev, branje in upoštevanje tehnološke in tehnične dokumentacije ter vzdrževanje tehnološke discipline je s strani izvajalcev ključnega pomena, ki prav tako vpliva na kakovost in zahtevane roke izvedbe del.

V diplomskem delu je bilo ugotovljeno, da v primeru uporabe visokotrdnostnega finoizrnatnega jekla dosežemo ekonomske prihranke zaradi:

- manjše lastne teže zvarjenja,
- manjših stroškov nabave osnovnega materiala,
- krajšega časa in zmanjšanja stroškov predelave materiala,
- prihranka energije za pripravo pozicij zvarjenja,
- zmanjšanih stroškov dodatnega materiala zaradi volumna zvara,
- prihranka časa in stroškov samega varjenja.

Hkrati je bilo v diplomskem delu ugotovljeno, da uporaba fino zrnatih visokotrdnostnih tanjših materialov v določenih primerih ne zadovoljuje zahtev zaradi togosti pozicij pri različnih obremenitvah in dopustnosti standardov za konstruiranje zvarjencev.

Na podlagi zgoraj zapisanih hipotez je jeklo S960QL primerno za uporabo na področjih zahtev po zmanjšanju teže, izboljšanju izgleda, povečanju dosegov in nosilnosti posameznih tipov žerjavov.

Glede na rezultate tehnološkega laboratorija je za jeklo S960QL postopek varjenja MAG v primerjavi z drugimi postopki varjenja najbolj ekonomičen.

Za zagotovitev izboljšanja posameznih faz izvajanja dela v proizvodnji je velikega pomena sodelovanje konstrukcijskega biroja s tehnologijo proizvodnje. Tako je bil letos v podjetju Palfinger d.o.o. tudi uveden sistem takšnega sodelovanja.

Ko konstrukcija pripravi koncept ali spremembo žerjava oziroma komponent, se dokumentacija posreduje v tehnologijo proizvodnje v pregled za možnost izdelave. Tehnologija proizvodnje doda predloge izboljšave, ki jih konstrukcijski biro kasneje uvede. Le tako lahko konstrukcijski biro pripravi končno dokumentacijo za izvedbo prototipnih izdelkov.

Na odločitev izdelave diplomskega dela je vplival predvsem problem izdelave jeklene konstrukcije že obstoječega tipa žerjava z delovnim odrom in postavljeno zahtevo naročnika o povečanju obsega delovnega področja in zmanjšanju teže žerjava v celoti zaradi vgradnje na kamion z dovoljenimi manjšimi obremenitvami. V skladu z izdelano tehnično dokumentacijo oziroma načrti je zahtevana sprememba kakovosti in dimenzij vgradnega materiala.

Zaradi tega je bilo potrebno spremeniti celoten proces izdelave in pripraviti novo tehnološko dokumentacijo za potrditev postopka varjenja.

Po pripravi tehnološke dokumentacije za izvedbo del in začetkom proizvodnje vzorčnega zvarjenja pa se je izkazalo, da je odločitev prehoda na višje kakovostni material in s tem stanjšanje debeline vgradnega materiala, uporabljenega v zvarjencu, kljub zmanjšanju teže bila neutemeljena, saj je v samem procesu varjenja prišlo do nesprejemljivih deformacij. Prav tako zaradi previsokih stroškov realizacije postopka izdelave tovrstnih komponent glede na letne količine povpraševanja ni rentabilno.

Zaradi zgoraj navedenega je bila sprejeta odločitev, da se obdrži ustaljeni proces preoblikovanja in varjenja.

Kljub dobljenim rezultatom pa je pridobitev potrditve procesa varjenja visokokakovostnega finoizrnatnega jekla z oznako S960QL pripomogla k temu, da je podjetje s tem pridobilo dovoljenje za povečanje obsega izbire vgradnih materialov tudi na materiale z omenjenimi visokimi mehanskimi lastnostmi.

6 VIRI, LITERATURA

Böhler welding. (September 2013). *Böhler Wissenswertes für den Schweißer*. Pridobljeno iz <http://www.epa-schweisstechnik.de/video/Handbuecher/BoehlerHandbuch.pdf>

Data sheet MEGAFILL 1100M. (Avgust 2018). Pridobljeno iz HOBART FILLER METALS: https://www.hobartbrothers.com/uploads/pdf/datasheets/Megafil_1100M.pdf

DILLINGER HÜTTE . (2016). *Podatkovni list - DILLIMAX 690*. Pridobljeno iz http://www.unionstahl.com/wp-content/uploads/2018/01/DILLIMAX_690_04_2016_D.pdf

Dipl.Ing. Geiss. (1993). *Varjenje v zaščitnem plinu MAG*. D - Saarbrücken: DVS - Detusche Verband für Schweißtechnik.

Hochfeste Stähle - Visokotrnostna jekla. (avgust 2018). Pridobljeno iz <http://www.unionstahl.com/sortiment/hochfeste-staehle/>

ILSENBURGER GROBBLECH GmbH. (Julij 2018). *Verarbeitungshinweise für Hochfeste Stähle*. Pridobljeno iz https://www.ilsenburger-grobblech.de/fileadmin/footage/MEDIA/gesellschaften/ilg/dokumente/Werkstoffblaetter/Werkstoffblaetter_englisch/Processing_Instructions_for_High-Strength_Steels.pdf

Lasten vir. (1. April 2004). *Zapiski predstavitve dip.ing. Peter Gerster na varilnohničnih dnevih Hamburg 2004*. Hamburg.

Lasten vir. (2018). *Predhodno navodilo za varjenje - pWPS 0118 P/BK*.

Lasten vir. (13. Junij 2018). *Poročilo preskušanja varilnega postopka Št. 01/18 (D)*. Maribor.

Lasten vir. (2018). *Lastna raziskava*.

Madhusudhan D, S. C. (2018). *IOP Science*. Pridobljeno iz Modeling and simulation of Charpy impact test of: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/330/1/012013/pdf>

Manufacturing guide - Charpy impact test. (10. Avgust 2018). Pridobljeno iz <https://www.manufacturingguide.com/en/charpy-impact-test>

PALFINGER AG. (December 2016). Interni standardi podjetja PALFINGER. *Predelava in preoblikovanje pločevine*.

PALFINGER AG. (21. April 2017). AA-PROD-42M - Interni standardi podjetja PALFINGER. *Delovno navodilo - Varilni parametri za MAG-varjenje - Ver.11*. Maribor.

- SIJ ACRONI. (2018). *PODATKOVNI LIST SIMAXX*. Pridobljeno iz <https://sij.acroni.si/assets/Uploads/SIMAXX-Catalogue.pdf>
- SSAB. (28. November 2017). *Pdatkovni list - STRENX 960 PLUS*. Pridobljeno iz <https://www.ssab.com/products/brands/strenx/products/strenx-960-plus>
- STAHL-EISEN-Werkstoffblätter des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute. (10 1993). SEW 088 - Schweissgeeignete Feinkornbaustähle / 4.Ausgabe. *Navodilo za predelavo, posebej za varjenje s taljenjem*.
- Standard SIST EN ISO 9013:2017. (2017). *Toplotno rezanje - Razvrstitev toplotnih rezov - Geometrijska specifikacija izdelkov in tolerance kakovosti (ISO 9013:2017)*.
- Standard SIST EN 10025-6:2005+A1:2009 . (2005 + A1 (2009)). *Vroče valjani izdelki iz konstrukcijskih jekel - 6. del: Tehnični dobavni pogoji za ploščate izdelke iz konstrukcijskih jekel z veliko plastično trdnostjo v kaljenem in popuščnem stanju*.
- Standard SIST EN 10027-1:2016. (2016). *Sistemi označevanja jekel - 1. del: Oznake jekel*.
- Standard SIST EN 10027-2:2015. (2015). *Sistemi označevanja jekel - 2. del: Številčni sistem*.
- Standard SIST EN 1090-2:2008+A1:2012. (1. Februar 2012). *Izvedba jeklenih in aluminijastih konstrukcij - 2. del: Tehnične zahteve za izvedbo jeklenih konstrukcij*.
- Standard SIST EN 5817:2014. (1. Maj 2014). *Varjenje - Talilno zvarjeni spoji na jeklu, niklju, titanu in njihovih zlitinah (varjenje s snopom izključeno) - Stopnje sprejemljivosti nepopolnosti (ISO 5817:2014)*.
- Standard SIST EN ISO 14175:2008. (2008). *Pomožni materiali za varjenje - Plini in plinske mešanice za obločno varjenje in sorodne postopke*. SIST.
- Standard SIST EN ISO 148-1:2017. (1. Februar 2017). *Kovinski materiali - Udarni preskus po Charpyju - 1. del: Preskusna metoda (ISO 148-1:2016)*.
- Standard SIST EN ISO 15607:2004 . (1. Junij 2004). *Popis in kvalifikacija varilnih postopkov za kovinske materiale - Splošna pravila (ISO 15607:2003)*.
- Standard SIST EN ISO 15614-1 : 2017. (2017). *Specifikacija in razvrščanje varilnih postopkov za kovinske materiale - Preskus varilnega postopka - 1. del: Obločno in plamensko varjenje jekel in obločno varjenje niklja in nikljevih zlitin*.

- Standard SIST EN ISO 16834:2012. (1. September 2012). *Dodajni materiali za varjenje - Žične elektrode, žice, palice in čisti vari za varjenje visokotrdnostnih jekel v zaščiti plinov - Razvrstitev (ISO 16834:2012).*
- Standard SIST EN ISO 17632:2016. (1. Marec 2016). *Dodajni materiali za varjenje - Polnjene žice za obločno varjenje nelegiranih in drobnozrnatih jekel po MIG/MAG - Razvrstitev (ISO 17632:2004).*
- Standard SIST EN ISO 17639:2013. (1. December 2013). *Porušitveni preskusi zvarov na kovinskih materialih - Makroskopska in mikroskopska preiskava zvarov (ISO 17639:2003).*
- Standard SIST EN ISO 18276:2017. (Maj 2017). *Dodajni materiali za varjenje - Strženske žice iz cevi za obločno varjenje nerjavnih in ognjeodpornih jekel v zaščitnem plinu in brez zaščite - Razvrščanje (ISO 18276:2017).*
- Standard SIST EN ISO 3834-1:2006. (1. Marec 2006). *Zahteve za kakovost pri talilnem varjenju kovinskih materialov – 1. del: Merila za izbiro stopenj sprejemljivosti (ISO 3834-1:2005).*
- Standard SIST EN ISO 4063:2011. (1. November 2011). *Varjenje in sorodni postopki - Seznam načinov in številčne oznake (ISO 4063:2009, popravljena verzija 2010-03-01).*
- Standard SIST EN ISO 4136:2013. (1. December 2013). *Porušitveni preskusi zvarov na kovinskih materialih - Prečni natezni preskus (ISO 4136:2012).*
- Standard SIST EN ISO 5173:2010 . (1. December 2010). *Porušitveno preskušanje zvarnih spojev na kovinskih materialih - Upogibni preskusi (ISO 5173:2009).*
- Standard SIST EN ISO 6892-1:2017. (1. Februar 2017). *Kovinski materiali - Natezni preskus - 1. del: Metoda preskušanja pri sobni temperaturi (ISO 6892-1:2016).*
- Standard SIST EN ISO 7438:2016 . (1. April 2016). *Kovinski materiali - Upogibni preskus (ISO 7438:2016).*
- Standard SIST EN ISO 9015-1:2012. (1. Januar 2012). *Porušitveni preskusi zvarov na kovinskih materialih - Preskušanje trdote - 1. del: Preskušanje trdote na obločno varjenih spojih (ISO 9015-1:2001).*

Standard SIST EN ISO 9016:2012. (1. Julij 2013). *Porušitveni preskusi zvarov na kovinskih materialih - Udarni preskusi - Položaj preskušanca, smer zareze in preiskava (ISO 9016:2012).*

Standard SIST EN ISO 9606-1:2013. (1. December 2013). *Preskušanje usposobljenosti varilcev - Talilno varjenje - 1. del: Jekla (ISO 9606-1:2012, vključuje tudi Cor 1:2012).*

Standard SIST-TP CEN ISO/TR 15608:2017. (1. Maj 2017). *Varjenje - Smernice za razvrščanje kovinskih materialov v skupine (ISO/TR 15608:2017).*

Thyssen Krupp Stahl AG. (August 2005). CD - Sonderbaustähle mit Pro Weld. Duisburg.

THYSSENKRUPP STEEL EUROPE . (2018). *PODATKOVNI LIST XABO 890*. Pridobljeno iz https://www.thyssenkrupp-steel.com/media/content_1/publikationen/grobblech_migration/n_a_xtra_xabo/werkst_offblaetter_1/xabo_890-960_wbl_245_englisch_1115.pdf

UNIONSTAHL. (2018). *Podatkovni listi proizvajalcev*. Pridobljeno iz Podatkovni listi proizvajalcev: <http://www.unionstahl.com/downloads/?lang=en#1515413759486-6918f923-9017>

VOESTALPINE BÖHLER. (24. 06 2014). PRAKTIKER - INFO. *VORWÄRMEN - WANN? WIE HOCH?*, str. 2.

VOESTALPINE STAHL GmbH. (2018). *Produktspezifikation - alform 960 X-TREME*. Pridobljeno iz <https://www.voestalpine.com/pro/index.html>

7 PRILOGE

Priloga 1: Podatkovni list dodajnega materiala, uporabljenega pri preizkusu VP 0118 P/BK

Priloga 2: Certifikat dodajnega materiala, uporabljenega pri preizkusu VP 0118 P/BK

Priloga 3: Predhodno navodilo za varjenje – pWPS 0118 P/BK

Priloga 4: Certifikat 3.1 osnovnega materiala, uporabljenega pri preizkusu VP 0118P/BK

Priloga 5: Poročilo o preskušanju varilnega postopka št.: 01/18 (D)

Priloga 6: Certifikat/odobritev varilnega postopka WPQR št.: 01/18 (D)



Union X 90

Solid wire, low-alloyed

Classifications						
EN ISO 16834-A			AWS A5.28			
G 89 6 M21 Mn4Ni2CrMo			ER120S-G			
Characteristics and typical fields of application						
Low-alloyed solid wire electrode for shielded arc welding of quenched and tempered fine grained structural steels.						
Outstandingly tough weld metal at low temperatures when deposited with gas mixture. Good resistance to cold cracking due to high purity of the wire surface. Used in crane and vehicle manufacture.						
Base materials						
S890QL (Dillidur 890; Weldox 890; XABO 890), S890MC (alform 900 M; Domex 900), USS-T1 ASTM A 709 Gr. 100 Type B, E, F, H, Q, HPS 100W						
Typical analysis of solid wire (wt.-%)						
	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni
wt.-%	0.10	0.80	1.80	0.35	0.60	2.30
Mechanical properties of all-weld metal						
Heat-treatment	Shielding gas	Yield strength $R_{p0.2}$	Tensile strength R_m	Elongation $A (L_0=5d_0)$	Impact work ISO-V KV J	
		MPa	MPa	%	+20 °C	-60 °C
aw	M21	890	950	15	90	47
Operating data						
	Polarity: DC (+)		Shielding gas: (EN ISO 14175) M2, M3		ø mm 1.0 1.2	Spool: B300 B300
Approvals						
TÜV (07675), DB (42.132.12), CE						

Priloga 2: Certifikat dodatnega materiala uporabljenega pri preizkusu VP 0118 P/BK



voestalpine Böhler Welding

voestalpine Böhler Welding Germany GmbH
Unionstr. 1 | D-59067 Hamm
Postfach 2551 | D-59015 Hamm
T. +49 2381-271-02
F. +49 2381-271-402
www.voestalpine.com/welding

Inspection certificate 3.1
No. 145382.4
to EN 10204 - 3.1

page 1 of 1

Your Order No. 14/0028-T dtd. 05.02.2014	Our Order No. 1001388592 / LS2001607582
Specifications	040 Position of packing list

wire electrode UNION X 90	Size [mm] 1,2	
Heat/PN 101069	Weight/kg 4320,0	ANS A 5.28 ER120S-G EN ISO 16834-A - G 89 6 M Mn4Ni2CrMo

Chemical Composition of wire in %

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni				
0,10	0,75	1,73	0,009	0,008	0,40	0,56	2,25				

19.02.2014 Authorized inspection representative

W000001 A 10.2010 20.000

Geschäftsführer
Jan Hilke
Jürgen Ohlen
Peter Puschnerski

Bankkonten
Deutsche Bank AG, Hamm
Konto 56000300 | BLZ 41070049
BIC (Swift Code) DEUTDE33HAN
IBAN DE36 4107 0049 0066 0993 00

Commerzbank AG, Hamm
Konto 501314901 | BLZ 41040018
BIC (Swift Code) COBADE33HAN
IBAN DE18 4104 0018 0501 3149 01

Sitz der Gesellschaft: Hamm | HRB 2136
USt-IDNr.: DE 812113327

Werkzufahrt Hafenstraße 21

voestalpine

ONE STEP AHEAD.

Priloga 3: Predhodno navodilo za varjenje - pWPS 0118 P/BK

NAVODILO PROIZVAJALCA ZA VARJENJE						pWPS Nr.: 0118 P/BK																																	
Za Preizkušanje						Rev: 00																																	
EN ISO 15609																																							
Welding Procedure Specification (ISO 15609)																																							
Št.dokazila: Reference No.:	WPQR -		Vrsta priprave-čiščenje: Method of Preparation and Cleaning:	Rezano-plamensko,laser, plazma,brušeno,peškano																																			
Proizvajalec: Manufacturer:	Boštjan Klajnšek		Specifikacija osn.materiale Parent Metal Designation:	S960QL		SIST EN 10025-6:2005																																	
Oblika prehoda kapljic: Mode of metal transfer:	MAG 135 P	ISO 4063 ISO 4063	Debelina materiala: Material thickness (mm)	15	15	/																																	
Oblika spoja / Vrsta zvara: Joint Type and Weld Type:	BW	V-zvar 50°	Zunanji premer: Outside Diameter (mm)	/																																			
Oblika varjenega spoja Weld Preparation Details (Sketch)*	prerez na zvaru		Položaj varjenja: Welding Position:	PA																																			
Skica zvara / Joint Design :			Vrstni red varjenja / Welding Sequences																																				
<table border="1"> <tr><td>*t₁</td><td>15</td><td>α</td><td>50°</td></tr> <tr><td>*t₂</td><td>15</td><td>α₁</td><td>/</td></tr> <tr><td>*t₃</td><td>/</td><td>β</td><td>/</td></tr> <tr><td>*b</td><td>2,5-3,5</td><td>β₁</td><td>/</td></tr> <tr><td>*c</td><td>1-1,5</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>*h</td><td>/</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>*d</td><td>/</td><td>n</td><td>Št.varkov</td></tr> <tr><td>*a</td><td>/</td><td>*</td><td>mm</td></tr> </table>			*t ₁	15	α	50°	*t ₂	15	α ₁	/	*t ₃	/	β	/	*b	2,5-3,5	β ₁	/	*c	1-1,5			*h	/			*d	/	n	Št.varkov	*a	/	*	mm					
*t ₁	15	α	50°																																				
*t ₂	15	α ₁	/																																				
*t ₃	/	β	/																																				
*b	2,5-3,5	β ₁	/																																				
*c	1-1,5																																						
*h	/																																						
*d	/	n	Št.varkov																																				
*a	/	*	mm																																				
Podrobnosti varjenja (Welding Details):																																							
Varilni sloj Run	Proces Welding Process	Premier dod.materiale Size of Filler Material (mm)	Jakost toka Current [A]	Napetost Voltage [V]	Vrsta toka-pol Type of Current Polarity	Hitrost dod.mat. Wire Feed Speed [m/min]	Hitrost varjenja Travel Speed *) [cm/min]	Vnos toplote Heat Input *) E [kJ/cm]	Vrsta obloka Metal transfer																														
1	135 P	1,2	115-150	17-22	DC+	2,9-4,0	17-22	4,2 - 9,3	sh.a.*																														
2	135 P	1,2	240-280	24-27	DC+	6,5-8,0	45-50	5,5 - 7,4	s.a.**																														
3	135 P	1,2	235-255	25-27	DC+	7,5-8,5	50-60	4,7 - 6,6	s.a.**																														
4-12	135 P	1,2	245-265	26-28	DC+	6,5-8,0	40-65	4,3 - 8,9	s.a.**																														
						* sh.a. - short Arc ** s.a. - Spray Arc																																	
Dodajni material: Filler Material (Designation and Make)		Koren / Root			Polnilni sloji+teme/ filler and top beads																																		
Oznaka : AWS: EN ISO 16834-A		UNION X90 A-5.28 ER120S-G G89 6 M21 Mn4Ni2CrMo			Oznaka : AWS: EN 16834-A																																		
					UNION X90 A-5.28 ER120S-G G89 6 M21 Mn4Ni2CrMo																																		
Posebne zahteve za sušenje: Any Special Baking or Drying:		/			**Nihanje(max širina zvara) e.g. weaving(maximum width of run):																																		
Zaščitni plin / Prašek: Designation Gas / Flux		- Shielding: - Backing			Brez / 12 mm																																		
Pretočna količina plina: Gas Flow Rate (l/min):		- Shielding: - Backing			**Oscilacija,Amplituda,Freq.,čas zadrževanja: Oscillation: amplitude, frequency, dwell time																																		
Brušenje korena / Podložna lettev: Details of Back Gouging/Backing:		12 – 16 litrov			**Podrobnosti za impulzno varjenje: Pulse welding details																																		
Temperatura predgrevanja: [T ₀] Preheat Temperature:		Obrusiti koren (ssnb)			**Razdalja kontaktne šobe: Distance contact tube/work piece (mm)																																		
Medvarokovna temperatura: [T _i] Interpass Temperature:		100°C			12-18																																		
Toplotna obdelava; čas ;temperatura ; postopek Time,Temperature,Method: Heating and Cooling Rates :		100°- 220°C			**Podrobnosti za plazma varjenje: Plasma welding details																																		
		/			**Nastavitev kota gorilnika: Torch angle:																																		
					75°-85°																																		
**Nadaljne informacije / Other Informations: Kontrola priprave zvarnega žleba, ob odstopanju obrusiti. Površina zvarnega žleba in rob mora biti metalno čista (min 10 mm)in peškana SA 2,5 . Vzorec za preizkušanje spneti z iztečnim in vtečnim talonom, nastaviti preddeformacijo cca 4 mm (povečanje kota α-za 2,8°).Predgrevati na odg.temp. in kontrolirati temp med posameznimi varki.																																							
Kontrola / Inspection: Kontrola priprave zvarnega žleba,kotnosti,ravnosti,dimenzije,pred-med in po varjenju.																																							
Razred kakovosti	(B)	C	D	EN ISO 5817	VT 100%	MT100%	UT 100%	RT - %																															
Obrniti - by drilling:																																							
Pripravil / lme : Prepared by:		B.Klajnšek		Odobril / lme : Approval / Name:																																			
Dobavitelj: Supplier:				Mesto kontrole: place of control:																																			
Datum /podpis: Date, sign:		Maribor, 18.06.2018		Datum / podpis : Date, sign:																																			

pWPS 0118-P-BK S960QL 135Wvar

Mehanske lastnosti / Mechanical properties / Mechanische Eigenschaften																
St. vzorca Heat No. Schmelze Nr.	St. vzorca Sample No. Probe Nr.	Deb. izdelka Product thick. Produkt dicke (mm)	Smer vzorca Sample orientation Proben lage		Nap. meja Yield stress Dehn grenze		Nap. trdnost Tensile str. Zugfestigkeit (MPa)		Zg. meja plastičnosti Upper yield point Obere Streckgrenze (MPa)		Kontakcija Reduction of area Einschnürung (%)		Raztežni Elongation Bruchdehnung (%)		Razmerje Ratio Beziehung	
			T/L	T/B	%	%	S2	Rp0.2	Rp1.0	Rm	Rth	Z	A5	A50	A80	Rp/Rm
Zahteva Requirements Anforderung	MIN															
	MAX															
292579	AMP006657	14,820	T							980,0	960,0		10,0			
										1150,0						
										1038,0	986,0		12,0			
T - Prečno / Transverse / Quer L - Vzdolžno / Longitudinal / Längs T - Gora / Top / Kopf B - Dno / Bottom / Fuss % - Odzajem vzorca na sredini / Taking the sample at the center of product / Unter der Probe in der Mitte des Produkts L - Odzajem vzorca po deb. L pod površino / Thickness L under the surface / Dicke L unter der Oberfläche S2 - Odzajem vzorca po deb. 2 mm pod površino / Thickness 2 mm under the surface / Dicke 2 mm unter der Oberfläche																

Preizkus žilavosti / Impact strength / Karbschlagarbeit (J)														
St. serijske Heat No. Schmelzen N°:		St. vzorca Sample No. Probe N°:		Deb. izdelka Product thick. Produkt dicke (mm)		Temperatura Temperature Temperatur (°C)		Smer vzorca Sample orientation Proben lage			Meritev Measurement Messungen (J)			Povprečje Average Durchschnitt (J)
						T		T/L	T/B	% N. 82	1	2	3	
Zahteva Requirements		MIN									27	27	27	27
Auforderung		MAX				-40								
292579		AHPB08667		14,820		-40		T			32	47	37	39
T - Prečno / Transverse / Quer L - Vzdolžno / Longitudinal / Längs T - Gleba / Top / Kopf B - Noga / Bottom / Fuss														
% - Odzvem vzorca na sredini / Taking the sample at the center of product / Unter der Probe in der Mitte des Produkt														
L - Odzvem vzorca po deb. L pod površino / Thickness L under the surface / Dicke L unter der Oberfläche														
82 - Odzvam vzorca po deb. 2 mm pod površino / Thicknesses 2 mm under the surface / Dicke 2 mm unter der Oberfläche														

Kemična Analiza / Chemical Composition / Chemische Zusammensetzung											
Specimen / Sample No. / Probierstück Nr.						ASM16193					
Et. Serial Heat No. / Schmelzen Nr.						292579					
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Al	Nb	As	Ti
0,170	0,284	1,055	0,010	0,001	0,55	0,15	0,261	0,490	0,005	0,016	0,027

N	O	H
0,0058	0,0050	0,0030

Dodatkowe zohlewy: / Additional requirements: / Zusätzliche Anforderungen:

St. vance / Sample No. / Probe No.: ASM16193

St. sorte / Heft No. / Schmelzer: 292579

1998

Ogjikov ekvivalent / Carbon equivalent

0.58

ACORDO 4.4.0
Cesta Borisa Kidriča 44
SI-1210 Jesenice
PrestanekPrestanek@ig.si
Dr. Goran Štrecer

Dimenzijska kontrola v skladu z: / Dimensional inspection according to: / Messprüfung nach:

Št. vzorca / Sample No. / Probe Nr.: AHP808667

En 10029:2010 Thickness Class A OK

EH 10029:2010 Flatness Class N OK

Opombe / Remarks / Bemerkungen

Potvrjujemo da dobavljeni izdelki ustrezajo zahtevam naročila / We confirm herewith that the delivered products comply with the purchase order / Es wird bestätigt, daß die Erzeugnisse den Bestellanforderungen entsprechen

Priloga / Annex / Anhang:

Priloga / Annex / Anbau: 1: CE znak / CE marking

Priloga 5: Poročilo o preskušanju varilnega postopka št.: 01/18 (D)



TEHNOLOŠKI LABORATORIJ (TL)
(Laboratory of Technology)
(Technologie Labor)

INSTITUT ZA VARILSTVO
Welding Institute / Institut für Schweißtechnik
Institut za varilstvo d.o.o., Ptujška 19, SI-1000 Ljubljana, tel.: (01) 28 09 400, fax: (01) 28 09 422, e-mail: info@i-var.si, web: www.i-var.si



SLOVENSKA AKREDITACIJA
SLO-EN ISO/IEC 17025
LP-003

Rezultati označeni z R se nanašajo na redovno dejavnost. (The results marked with R refer to a non-accredited activity.) (Die mit R bezeichneten Ergebnisse beziehen sich auf die nicht akkreditierten Tätigkeiten.)

Stran (Sheet / Seite) 1/4

POROČILO O PRESKUŠANJU VARILNEGA POSTOPKA št. (No./Nr.): 01/18 (D)

(Test report of Welding Procedure Qualification weld test. / Prüfprotokolle)

Proizvajalec <i>Manufacturer Hersteller</i>	PALFINGER d.o.o. Jaskova 18, 2000 Maribor	Preskuševalna ustanova <i>Examining or examining body Prüfer oder Prüfstelle</i>	Institut za varilstvo d.o.o., Ptujška 19, SI-1000 Ljubljana Laboratorij v Mariboru Zagrebska 90, 2000 Maribor
Smernica/standard <i>Code/Testing standard Regel/Prüfnorm</i>	SIST EN ISO 15614-1	Delovni nalog DN <i>Work order Arbeitsauftrag</i>	009532
Osnovni material <i>Parent Material Specification Spezifikation des Grundwerkstoffes</i>	Pločevina/ Plate/ Blech: S960QL (W.Nr. 1.8933) Skupina / Group / Gruppe: 3.2	Dimenzije osn. materiala <i>Material dimension Werkstoffdicke</i>	15,00 mm
Dodajni material <i>Filler Material Designation Zusatzwerkstoff</i>	SIST EN ISO 16834-A: G 89 6 M21 Mn4Ni2CrMo AWS A 5.28: ER1208-G (UNION X 90)	Sarža materiala <i>Heat No./Lotto Schmelze</i>	292579
Številka pWPS <i>Manufacturer's pWPS No pWPS-Nr des Herstellers</i>	0118 P/BK	Način varjenja <i>Welding process Schweißprozess</i>	135 – Ročno / Manual / Manuell
Vrsta zvara <i>Join Type and Weld Nahtart</i>	BW ss nb	Lega varjenja <i>Welding position Schweißposition</i>	PA (EN ISO 6947)
Predmet <i>Object Gegenstand der Überprüfung</i>	Testni etalon (test coupon)	Vezano na <i>Relation to Bezug auf</i>	WPQR 01/18-dipl.delo

VIZUALNA PREISKAVA (VT) (Visual testing / Sichtprüfung) - EN ISO 17637:2011

Temperatura preizkusa (Test Temperature / Prüftemperatur) T= 23° ± 5°C			
Št. poročila <i>(Report No. / Bericht Nr.)</i>	Preiskavo izvedel <i>(Testing performed by / Die Prüforganisation sind)</i>	Dosežena kakovost <i>(Achieved Acceptance level / Erreichte Akzeptanz)</i>	Zahteva (Requirement / Anforderung): EN ISO 6817:2014 - Razred B
009532	Tehnološki laboratorij (Institut za varilstvo) <i>Testing was performed in Technology Laboratory of Welding Institute / Der Test wurde in Technologie Labor von Institut für Schweißtechnik durchgeführt</i>	(nizred B)	Sprejemljivo <i>Satisfactory / Acceptable</i>

PENETRANTSKA PREISKAVA (PT) (Penetrant testing / Eindringprüfung) - EN ISO 3452-1:2013

Temperatura preizkusa (Test Temperature / Prüftemperatur) T= 23° ± 5°C			
Št. poročila <i>(Report No. / Bericht Nr.)</i>	Preiskavo izvedel <i>(Testing performed by / Die Prüforganisation sind)</i>	Dosežena kakovost <i>(Achieved Acceptance level / Erreichte Akzeptanz)</i>	Zahteva (Requirement / Anforderung): EN ISO 6817:2014 - Razred B
009532	NDT laboratorij (Institut za varilstvo) <i>Testing was performed in NDT Laboratory of Welding Institute / Der Test wurde in NDT Labor von Institut für Schweißtechnik durchgeführt</i>	Stopnja sprejemljivosti 2X (nizred B)	Sprejemljivo <i>Satisfactory / Acceptable</i>

ULTRAZVOČNA PREISKAVA (UT) (Radiographic testing / Durchstrahlungsprüfung) - EN ISO 18810-1:2014; EN ISO 11068:2010; EN ISO 23278:2011*

Temperatura preizkusa (Test Temperature / Prüftemperatur) T= 23° ± 5°C			
Št. poročila <i>(Report No. / Bericht Nr.)</i>	Preiskavo izvedel <i>(Testing performed by / Die Prüforganisation sind)</i>	Dosežena kakovost <i>(Achieved Acceptance level / Erreichte Akzeptanz)</i>	Zahteva (Requirement / Anforderung): EN ISO 6817:2014 - Razred B
009532	NDT laboratorij (Institut za varilstvo) <i>Testing was performed in NDT Laboratory of Welding Institute / Der Test wurde in NDT Labor von Institut für Schweißtechnik durchgeführt</i>	Stopnja sprejemljivosti 1 (nizred B)	Sprejemljivo <i>Satisfactory / Acceptable</i>



Razmnoževanje dokumenta je dovoljeno samo v celoti!
(The document may be copied only as a whole! / Das Berichtes darf nur als Ganzes vervielfältigt werden!)

Obr.: DP-206, rev. 6, Dodatek A

	TEHNOLOŠKI LABORATORIJ (TL) (Laboratory of Technology) (Technologie Labor)	Št. poročila (Report no. / Bericht Nr.)	01/18-dipl. delo
		Stran (Sheet / Seite)	2/4

NATEZNI PRESKUS (Tensile Tests / Zugprüfung) - SIST EN ISO 6892-1:2017 B10; EN ISO 4136: 2013

Vzorec (Sample) (Probe)	Dimenzije preskušanca (Sample Dimensions) (Abmessung)	S_0 [mm ²]	F_m [kN]	R_m [N/mm ²]	A [%]	Mesto porušitve (Fracture Location) (Bruchlage)	Zahteva (Requirement / Anforderung): SIST EN 10025-6 (S460QL): 980 - 1150 N/mm ²
	$a, b \times c$ [mm]						
V1	14,10 x 24,9	351,09	366,9	1045	/	ZVAR / weld metal / Schweißgut	Sprejemljivo / Acceptable
V2	14,01 x 24,9	348,80	362,3	1039	/	ZVAR / weld metal / Schweißgut	Sprejemljivo / Acceptable

Merila negotovost: *) Feritna j.: $R_m, A_0: \pm 1,62\%$ Feritna j. (ploč): $R_m, A_0: \pm 1,62\% \pm$ Avsenitna j.: $R_m, A_0: \pm 4,24\%$
 Measurement uncert. Feritna j. (civl): $R_m: \pm 2,3\%$ Feritna j. (blech): $R_m: \pm 2,5\%$ Avsenitna j. steel: $R_m: \pm 4,6\%$
 Messunsicherheit Feritna j. (Rohr)

UPOGIBNI PRESKUS (Bend Tests / Biegeprüfung) - SIST EN ISO 5173:2010/A1:2013

Vzorec (Sample) (Probe)	Stran v nategu (Type of test) (Zugseite)	Debelina preskušanca (Sample Thickness) (Probenstärke)	Širina preskušanca (Sample Width) (Probenbreite)	Razmak med podporama (Distance between rollers) (Abstand zwischen Stützrollen)	Premerni tma (Forme diameter) (Biegedurchmesser)	Doseženi kot (Bend Angle) (Erreichte Biegezwinkel)	Zahteva (Requirement / Anforderung): $\alpha = (100 \times L_0 / A_0) \Rightarrow \alpha \geq 180^\circ$
		a [mm]	b [mm]	[mm]	ϕ [mm]	[°]	
V1	SBB	10	15	120	90	$\geq 180^\circ$	Sprejemljivo / Acceptable
V2	SBB	10	15	120	90	$\geq 180^\circ$	Sprejemljivo / Acceptable
V3	SBB	10	15	120	90	$\geq 180^\circ$	Sprejemljivo / Acceptable
V4	SBB	10	15	120	90	$\geq 180^\circ$	Sprejemljivo / Acceptable

PRESKUS ŽILAVOSTI (Impact Tests / Kerbschlagbiegeprüfung) - SIST EN ISO 148-1:2010; SIST EN ISO 9016:2013

Vzorec (Sample) (Probe)	Širina (Width) (Breite) [mm]	Višina (Notch height) (Höhe) [mm]	S_0 [mm ²]	KV ₂ (KV ₂) [J **]	KV ₂ - preračunano (KV ₂ - Calculated) (KV ₂ - Ungerichtet) [J/cm ²]	KV ₂ - povprečje (KV ₂ - Average) (KV ₂ - Durchschnitt) [J]	Zahteva (Requirement / Anforderung): EN ISO 10025-3: $\geq 27 \text{ J} / -40^\circ\text{C}$	Lega zareze (Notch position) (Kerb-Lage)
V1	10,00	8,03	80,3	45	/	47	Sprejemljivo / Acceptable	WWT 0/1
V2	10,00	8,03	80,3	47	/			WWT 0/1
V3	10,00	8,02	80,2	50	/			WWT 0/1
V4	9,99	8,01	80,0	91	/	74	Sprejemljivo / Acceptable	VHT 1/1
V5	9,99	8,03	80,2	59	/			VHT 1/1
V6	9,99	8,01	80,0	72	/			VHT 1/1

Merila negotovost (Measurement uncert.) / Messunsicherheit: *) $\leq \pm 6\%$ **) Trenje naprave: 1,4 J je že upoštevano. (Friction of machine: 1,4 J is already included. / Die Reibung 1,4 J ist berücksichtigt in den Ergebnissen.)

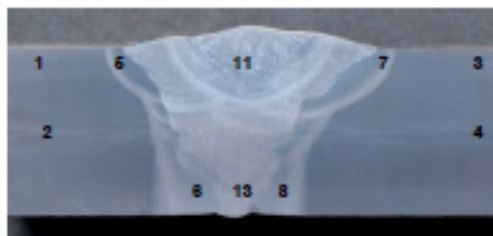


Razmnoževanje dokumenta je dovoljeno samo v celoti!
 (The document may be copied only as a whole / Das Berichtes darf nur als Ganzes vervielfältigt werden!)

Obr.: DP-206; rev. 6; Dodatek A

MERITEV TRDOTE (Hardness Tests / Härteprüfung) – SIST EN ISO 6507-1: 2006 ; SIST EN ISO 9015: 2012

Skica leg vtisov (Drawing with numbered areas / Skizze von Lagen der Eindrück)


Temperatura preizkusa (Test Temperature / Prüftemperatur) $T = 23^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$

		Območje (area / Gebiet)	Lega vtisov (Position of indentations / Lage der Eindrück)	Izmerjene vrednosti (HV 10) (Individual hardness values / Messwerte) (HV 10)
Osnovni material (Parent metal) (Grundwerkstoff)	Toplotno nevpilvan (Unaffected metal) (Unbeeinflusster Werkstoff)	1	OM, nevpilvan, površina (PM, unaffected, surface / Grundwerkstoff, unbeeinflusst, Oberfläche)	336, 328, 336
		2	OM, nevpilvan, sredina (PM, unaffected, centre / Grundwerkstoff, unbeeinflusst, Mitte)	336, 338, 329
		3	OM, nevpilvan, površina (PM, unaffected, surface / Grundwerkstoff, unbeeinflusst, Oberfläche)	348, 334, 334
		4	OM, nevpilvan, sredina (PM, unaffected, centre / Grundwerkstoff, unbeeinflusst, Mitte)	337, 346, 342
	Toplotno vplivana cona (Heat affected zone - HAZ) (Wärmeinfluss-Zone-WEZ)	5	OM, TVC, teme zvara (PM, HAZ, top of weld / Grundwerkstoff, WEZ, Nahtoberseite)	428, 422, 424, 429, 368
		6	OM, TVC, koren zvara (PM, HAZ, bottom of weld / Grundwerkstoff, WEZ, Nahtunterseite)	339, 340, 363, 343, 328
		7	OM, TVC, teme zvara (PM, HAZ, top of weld / Grundwerkstoff, WEZ, Nahtoberseite)	409, 412, 406, 420, 302
		8	OM, TVC, koren zvara (PM, HAZ, bottom of weld / Grundwerkstoff, WEZ, Nahtunterseite)	328, 321, 323, 318, 276
		9	OM, TVC, notranjost korena (PM, HAZ, root run, inside / Grundwerkstoff, WEZ, Nahtunterseite)	/
		10	OM, TVC, notranjost korena (PM, HAZ, root run, inside / Grundwerkstoff, WEZ, Nahtunterseite)	/
Zvar (Weld) (Schweißgut)		11	Var, krovni sloj (Weld metal, final run / Schweißgut, Decklage)	405, 398, 398
		12	Var, krovni sloj (Weld metal, final run / Schweißgut, Decklage)	/
		13	Var, koren zvara (Weld metal, root run / Schweißgut, Wurzellage)	307, 319, 315
		14	Var, notranjost korena (Weld metal, final run, inside / Schweißgut, Wurzellage)	/

Zahteva (Requirement / Anforderung): SIST EN ISO 15614-1: ≤ 450 HV 10.

Merilna negotovost (Measurement uncertainty / Messunsicherheit): $\gamma \leq \pm 3,0 \%$ OM – osnovni material ; PM – Parent metal / Grundwerkstoff

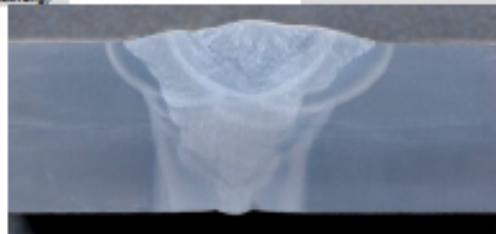
*) Navedena merilna negotovost je razširjena relativna merilna negotovost dobljena z množenjem standardne deviacije s faktorjem $k=2$. Vrednosti ležijo znotraj podanega območja z verjetnostjo 95%. (The uncertainty of measurement given is an expanded relative uncertainty of measurement obtained by multiplying the standard deviation and factor $k=2$. The values lie inside the range given with a probability of 95%.) (Die angegebene Messunsicherheit ist eine erweiterte relative Messunsicherheit, die durch die Multiplikation der Standardabweichung mit dem Faktor $k=2$ erhalten wird. Die Werte liegen im angegebenen Bereich mit einer Wahrscheinlichkeit von 95%.)


	TEHNOLOŠKI LABORATORIJ (TL) (Laboratory of Technology) (Technologie Labor)	Št. poročila (Report no. / Bericht Nr.)	01/18-dipl. delo
		Stran (Sheet / Seite)	4/4

METALOGRAFSKE PREISKAVE (Metallographic Tests / Metallographische Untersuchungen) - SIST EN ISO 17639:2013

Temperatura preizkusa (Test Temperature / Prüftemperatur) $T = 23^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$

Makroskopska povečava (Macroscopic magnification / Makrosaufnahmevergrößerung) - 2 krat (times / fach) Jedkalo (Etchant / Ätzmittel) Nital



PA - pločevina (plate / Blech) ; $t = 15,0 \text{ (mm)}$

Ugotovitev: Zvar je brez makroskopsko vidnih napak.

(Remarks: The macroscopic examination showed no defects in the weld. / Befund: Die Schweißnaht weist keine makroskopisch sichtbare Fehler.)

MNENJA IN RAZLAGE (OPINIONS AND EXPLANATIONS / GUTACHTEN UND ERLÄUTERUNGEN)

Povezava z drugo dokumentacijo (Reference to other documents / Bezug auf andere Unterlagen)	pWPS (pWPS): 0118 P/BK Zapis o preiskavi št. (Test record no. / Bericht Nr.): 760 Zapis o preiskavi št. (Test record no. / Bericht Nr.): 478 Zapis o preiskavi št. (Test record no. / Bericht Nr.): 189 Zapis o preiskavi št. (Test record no. / Bericht Nr.): 246 Zapis o preiskavi št. (Test record no. / Bericht Nr.): 759
--	--

Preskusi in preiskave so bile opravljene z namenom, da se določijo lastnosti zvarnega spoja skladno z zahtevami standarda SIST EN ISO 15614-1. (Testing was performed in order to establish properties of a welded joint (parent material) in accordance with requirements of SIST EN ISO 15614-1. / Die Prüfungen wurden durchgeführt, um Eigenschaften einer Schweißverbindung gemäß der Anforderungen von SIST EN ISO 15614-1 zu ermitteln.)

Mnenja in razlage niso vključena v obseg akreditacije.

(Opinions and explanations are not included in the scope of accreditation. / Die Gutachten und die Erläuterungen sind nicht im Akkreditierungsbereich eingeschlossen.)

Navedeni rezultati se nanašajo izključno na preiskane vzorce. Podatki o preskusi in preiskavi v tem poročilu se hranijo 5 let. (The test results refer exclusively to the samples examined. The test results stated in the present report shall be kept for a period of 5 years. / Die Prüfungsbeurteilung beziehen sich ausschließlich auf die geprüften Schweißnähte. Die im diesem Bericht angegebenen Prüfungsbeurteilung werden für die Dauer von 5 Jahren aufbewahrt.)

Kraj in datum izdaje poročila:
(Location, date of Report issue / Ort, Datum der Ausgabe des Berichts)

Maribor, 02. 07. 2016

Žig
(Stamp / Stempel)

Vodja laboratorija v Mariboru:
(Head of Laboratory in Maribor / Leiter des Labors in Maribor)

Nataša Novak, univ. dipl. inž., IWE



Razmnoževanje dokumenta je dovoljeno samo v celoti!
(The document may be copied only as a whole / Das Berichtes darf nur als Ganzes vervielfältigt werden!)

Obr.: DP-206; rev. 6; Dodatek A

Priloga 6: Certifikat / odobritev varilnega postopka WPQR št.: 01/18 (D)

Certifikat/Odobritev varilnega postopka (WPQR)

št. (No./Nr.): 01/18 (D)

Welding Procedure Qualification Record – Test certificate (WPQR) / Zertifikat – Qualifizierung des Schweißverfahrens (WPQR)

Proizvajalec Manufacturer Hersteller	PALFINGER d.o.o. Jaskova 18, 2000 Maribor	Certifikacijski organ Certification Body Prüfer oder Prüfstelle	Institut za varilstvo d.o.o., Ptujška 19, SI-1000 Ljubljana
Delovni nalog DN Work order Arbeitsauftrag	009532	Številka p/WPS Manufacturer's p/WPS No. p/WPS-Nr. des Herstellers	0118 P/BK
Smernica/standard Code/Testing standard Regel/Prüfnorm	SIST EN ISO 15614-1	Kraj in datum varjenja Date and locat. of welding Ort und Datum des Schweißens	Maribor, 22.06.2016
Preskusni vzorec Weld Specimen Info Prüfstück Info	Preskusni vzorec je izdelan na S960QL debeline $t=15,0$ mm iz EN 10025-6: W. Nr.: 1.8933 ter je skladen z zahtevami: Oblikovne in notranje napake - sprejemljivo za razred B po SIST EN ISO 5817; Natezna trdnost R_{m} v območju 980 – 1150 N/mm ² ; Upogibni kot 180°; KV _J > 27 J pri T = -40°C; Trdota ≤ 450 HV10.		

Obseg odobritve

Range of qualification / Umfang der Anerkennung

Način varjenja Welding process Schweißprozess	135 - Ročno	Vrsta zvara Joint Type and Weld Nahtart	BW 65 nb
Osnovni material Parent Material Specification Spezifikation des Grundwerkstoffes	Jekla nazivne meje elastičnosti $R_{m} > 690$ N/mm ² (Steels with nominal yield strength limit $R_{m} > 690$ N/mm ²) po (in acc.) SIST-TP CEN ISO/TR 15608 - Skupina (group-s) 3.2) (1-1, 2-1, 2-2, 3-1, 3-2, 3-1-3.1, 3.2-3.2)		
Debelina osn. materiala Parent Material Thickness Dicke des Grundwerkstoffes	7,5 do 30,00 mm	Debelina prevartive Weld Metal Thickness Dicke des Schweißgutes	7,5 do 30,00 mm
Zunanji premer cevi Outside Pipe Diameter Rohr Außendurchmesser	> 500 mm > 150 mm (lege PC, PF in PA z obračanjem)	Višina kotnega zvara Throat Thickness Keinheitsdicke	/
Dodatni material Filler Material Designation Zusatzwerkstoff	SIST EN ISO 16834-A: G 89 6 M21 Mn4Ni2CrMo AWS A 5.28: ER1208-G	Premer dod. materiala Filler Material Size Durchmesser des Zusatzwerkstoffes	Ø 1,2
Proizv. dod. materiala Filler Material Make Hersteller von dem Zusatzwerkstoff	Boehler	Eno-večvarkovno varjenje Single run/Multi run Einlegig/ Mehrlegig	Večvarkovno (ml)
Zaščitni plin/prášek Designation of Shielding Gas/Flux Schutzgas/Schweißpulver	EN ISO 14175: M21 (Ar + 18% CO ₂)	Zaščita korena Designation of Backing Gas Formlingsgas	/
Vrsta toka Type of welding current and Polarity Stromart – Polarität	DC (+)	Prehod materiala Mode of Metal Transfer Art des Tropfenüberganges	Varek št. 1: Kratkostično Varek št. 2 - 12: Prseče
Vnos toplote Heat Input Wärmeeinbringung	(4,3 – 7,7) ± 25 % [kJ/cm]	Legi varjenja Welding Positions Schweißposition	PA (ISO 6947)
Temp. predgrevanja Preheat Temperature Vorwärmtemperatur	≥ 100°C	Medvarkovna temp. Interpass Temperature Zwischenlagentemperatur	≤ 170°C
Temp. pogrevanja Post-Heating Nachwärmen	/	Toplotna obdelava Post-Weld Heat-Treatment Wärmeechbehandlung	/
Ostale informacije Other Informations Andere Info	/		

S tem potrjujemo, da so bili preskusni zvari pripravljeni, varjeni in preskušeni v skladu s pogoji zgoraj omenjenih smernic oz. standarda za preskušanje. Potrditev varilnega postopka je izdana na osnovi rezultatov preskusov, podanih v poročilu št.: 01/18-dipl.delo, ki jih je kot izvajalec preskusov za VARcert-VP izvedel Tehnološki laboratorij Instituta za varilstvo. Certified that test welds were prepared, welded and tested satisfactorily in accordance with the requirements of the code/standard indicated above. The approval of the welding procedure is based on the test results stated in Report no: 01/18-dipl.delo, which was made by Laboratory of Technology from Welding Institute as VARcert-VP. Die Anerkennung des Schweißverfahrens basiert auf die Prüfungsberichte von Technologie Labor (Subunternehmer des Zertifikatsstelle VARcert), die in Bericht Nr. 01/18-dipl.delo angegeben sind. Hiermit wird bestätigt, dass die Prüfungserschweißungen in Übereinstimmung mit den Bedingungen der vorbeschriebenen Prüfungsrichtlinien vorbereitet, geschweißt und geprüft wurden.

Kraj in datum izdaje
(Location, date of issue / Ort und Datum)
Maribor, 02. 07. 2016

Žig
(Stamp / Stempel)

Certifikacijski organ VARcert-VP:
(Certification Body VARcert-VP / Zertifizierungsstelle VARcert-VP)
Nataša Novak, univ.dip.inž., IWE



Razmnoževanje dokumenta je dovoljeno samo v celoti!
(The document may be copied only as a whole / Das Dokument darf nur als Ganzes vervielfältigt werden!)

Obr.: DP-206, priloga 7, rev.0