

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу

Срђан С. Ранђеловић

**Избор најповољније технологије репаратуре
парног котла**

Завршни рад

У Крагујевцу, 2017. године

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Производно машинство

Предмет: Производне технологије (Технологија заваривања)

Број индекса: 708/2016

Срђан С. Ранђеловић

**Избор најповољније технологије репаратуре
парног котла**

Завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. др Вукић Лазић - ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да:

1. Опише и прикаже рад парних котлова као и да се осврне на најважније материјале који се користе у тој области.
2. Да прикаже примере оштећења котлова као и основне методе за њихову репаратуру.
3. Да на конкретном примеру прикаже квалификацију технологије заваривања са целокупном процедуром избора додатног материјала, поступка и параметара заваривања, режима термичке обраде као и врсте и обима контроле заварених спојева.

Препоручена литература:

1. М. Јовановић, В. Лазић: *Технологија ливења и заваривања – универзитетски уџбеник*, Факултет инжењерских наука у Крагујевцу, Крагујевац, 2015.
2. М. Јовановић, В. Лазић, Д. Арсић, *Наука о материјалима I*, универзитетски уџбеник, Факултет инжењерских наука у Крагујевцу, Крагујевац, 2017.
3. М. Јовановић, В. Лазић: *Практикум гасног (ГПЗ) и аргонског (ТИГ) заваривања*, помоћни универзитетски уџбеник, Машински факултет у Крагујевцу, Крагујевац, 2011.
4. М. Јовановић, В. Лазић: *Практикум РЕЛ и МАГ/МИГ заваривања*, помоћни универзитетски уџбеник, Машински факултет у Крагујевцу, Крагујевац, 2008.
5. М. Јовановић, Д. Адамовић, В. Лазић: *Технологија заваривања - приручник*, друго проширено и допуњено издање, Крагујевац, 2011.

У Крагујевцу, 2017. године

Ментор:
Проф. др Вукић Лазић

Садржај:

1.ОСНОВНИ ПОЈМОВИ О ЗАВАРИВАЊУ.....	1
УВОД.....	1
1.1 Кратак опис поступака заваривања.....	1
1.1.1 РЕЛ поступак - ручно електролучно заваривање обложеном електродом.....	2
1.1.2 Обложене електроде.....	2
1.2 ТИГ поступак - заваривање нетопљивом електродом у заштити гаса.....	3
2.ОПИС ПОСТРОЈЕЊА И КОНСТРУКЦИЈЕ ПАРОВОДА.....	4
2.1 Опис типа котла.....	4
2.2 Рад блока.....	5
2.2.1 Нормалан рад блока.....	5
2.2.2 Паралелан рад блока.....	5
2.2.3 ВУ-PASS рад блока.....	5
2.3 Повезни цевовод П2-П3.....	5
2.3.1 Параметри прегрејача 2 (П2).....	6
2.3.2 Параметри прегрејача 3 (П3).....	6
2.3.3 Параметри повезног цевовода од пр. 2 до пр. 3 (П2-П3).....	6
3.ОСНОВНИ МАТЕРИЈАЛ,КВАЛИТЕТ И ОСОБИНЕ.....	7
3.1 Својства челика за израду посуда под притиском.....	7
3.2 Основни материјал повезног цевовода према документацији ТЕ Костолац Б.....	8
4.ПРОПИСИВАЊЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ ЗАВАРИВАЊА.....	9
4.1 Избор поступка заваривања.....	9
4.2 Избор додатног материјала.....	9
4.3 Квалификација технологије заваривања.....	11
4.3.1 Метод квалификације.....	11
4.3.2 Припрема.....	11
4.3.3 Надзор.....	12
4.3.4 Квалификација на бази провере технологије заваривања.....	12
4.3.5 Проба технологије заваривања.....	13
4.3.6 Узорак за испитивање.....	13
4.3.7 Контрола и испитивање.....	13
4.4 Припрема основног материјала.....	18
4.5 Избор параметара заваривања.....	19
4.6 Избор параметара термичке обраде.....	20
4.7 Опрема за термичку обраду.....	21
5.УТВРЂИВАЊЕ ВРСТЕ И ОБИМА КОНТРОЛЕ И КРИТЕРИЈУМА ПРИХВАТЉИВОСТИ У СВИМ ФАЗАМА.....	23
5.1 Контрола и испитивање.....	23

5.2 Збирка доказа о квалитету конструкције.....	24
6.ЗАКЉУЧАК.....	25
7.ЛИТЕРАТУРА.....	26

Резиме

Циљ овог рада је да укаже на проблеме при раду парног котла у постројењу термоелектрани Костолац Б као и на могућа оштећења која се јављају. Такође, циљ рада је да детаљно прикаже избор технологије репаратурног заваривања оштећеног постројења израђеног од челика отпорних на пузање на високим температурама. Рад обухвата и поступак квалификације прописане технологије заваривања, неопходну документацију и резултате спроведених експерименталних испитивања. На крају, прописана технологија заваривања је примењена на реалном парном котлу и показала се веома поузданом.

Кључне речи: парни котао, челици отпорни на пузање, технологија заваривања, WPS листа.

Abstract

The aim of this work is to emphasize to problems during exploitation of steam boiler in thermoplant Kostolac B, as well as possible damages which can occur. Also, in this work in details is shown selection of optimal welding technology for revitalization of damaged facility made from high temperature creep resistant steel. Work contains whole procedure of welding technology qualification, all necessary documentation and results of experimental testing of joints. In the end, proposed welding technology is applied on real steam plant and it prove to be reliable.

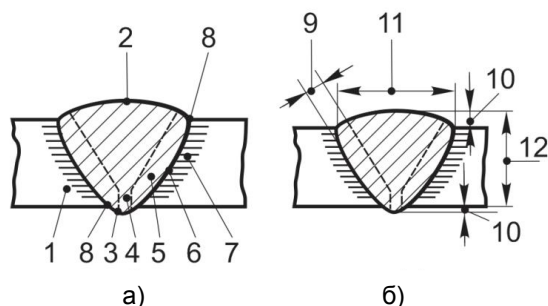
Key words: steam plant, creep resistant steels, welding technology, WPS list.

1. ОСНОВНИ ПОЈМОВИ О ЗАВАРИВАЊУ

Увод

Заваривање је процес израде нераздвојивог споја између делова који се спајају, при коме се појединачно или комбиновано користи топлотна и механичка енергија и додатни материјал. Поступци заваривања, који се најчешће користе у енергетским постројењима, засновани су на локалном загревању материјала изнад температуре топљења, када заварени спој настаје очвршћавањем.

Заварени спој чине основни материјал и метал шава. Шав чине лице, наличје, корен и ивица шава (слика 1.1-а). Шав настаје топљењем и очвршћавањем истопљеног основног и додатног материјала. Део (зона) основног метала, који се топи у процесу заваривања и улази у састав метала шава зове се *увар*. Део основног материјала, који је под утицајем загревања и хлађења претрпео извесне структурне промене, назива се *зона утицаја топлоте* (скраћено ЗУТ). Основне димензије шава сучеоног споја (ширина, дебљина и надвишење) дати су на слици 1.1-б.



Слика 1.1 Основни елементи завареног споја по SRPS C.T3.001

(1-основни материјал; 2-лице шава; 3-наличје шава; 4-корен шава; 5-увар; 6-граница увара; 7-ЗУТ; 8-ивица шава; 9-дубина увара; 10-надвишење; 11-ширина споја; 12-дебљина шава;)

Пре заваривања потребно је припремити ивице основног метала, чиме се добија жлеб за заваривање, чији су основни појмови дефинисани стандардом SRPS C.T3.001. Облик и димензије жлеба су одређени стандардом SRPS C.T3.030.

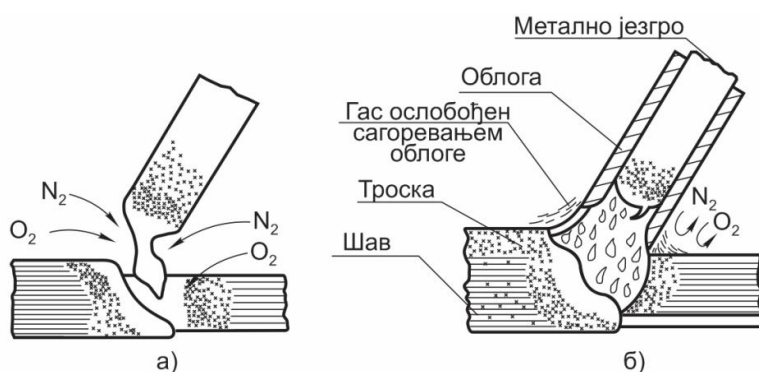
Припремљени жлеб у процесу заваривања топљењем може да се испуни у једном или у више пролаза, или у више слојева, што првенствено зависи од дебљине основног материјала. Завар представља део метала шава, настао у једном пролазу или слоју.

1.1 Кратак опис поступака заваривања

При заваривању конструкција и делова посуда под притиском (пароводи, резервоари, експандери, загрејачи...), енергетских постројења, најчешће је у примени ручно електролучно заваривање (РЕЛ поступак са стандардном ознаком 111) и електролучно заваривање нетопљивом електродом у заштити гаса аргона (ТИГ са стандардном ознаком 141).

1.1.1 Ручно електролучно заваривање обложеном електродом - РЕЛ поступак

Поступак спајања метала топљењем обложене електроде и дела основног материјала у електричном луку, назива се ручно електролучно заваривање обложеном електродом (скраћено РЕЛ). У електричном луку, који се успоставља и одржава између основног материјала и електроде, врши се топљење језгра електроде. Тако се обезбеђује додатни материјал за попуну жлеба. Топљењем, сагоревањем и испаравањем облоге остварује се заштита металне купке од ваздуха и околних гасова. Састојци облоге, који се топљењем мешају са растопљеним металом, због мање густине испливавају на површину и очврсну у облику троске. Улога троске је да штити метал шав од утицаја околине и успорава његово хлађење. Најчешће се уклања специјалним заваривачким чекићем.



Слика 1.2 Шематски приказ РЕЛ поступка заваривања

Уређај за РЕЛ поступак се састоји од извора струје, доводних и одводних каблова, држача електроде, стезалке за масу. У додатну опрему спадају заштитна одећа и маска заваривача и његов ручни алат. За ручно електролучно заваривање се користе наизменична (AC) и једносмерна (DC) струја, при чему избор струје првенствено зависи од врсте облоге и обично је препоручен од стране произвођача електроде.

Заштитна одећа и маска заваривача, као и друге мере заштите су битне код свих електролучних поступака заваривања, а посебно код ручног електролучног поступка. Опасности при електролучном заваривању су удар струје, прејака светлост, јонизујуће зрачење, загађена атмосфера и прскање троске и метала.

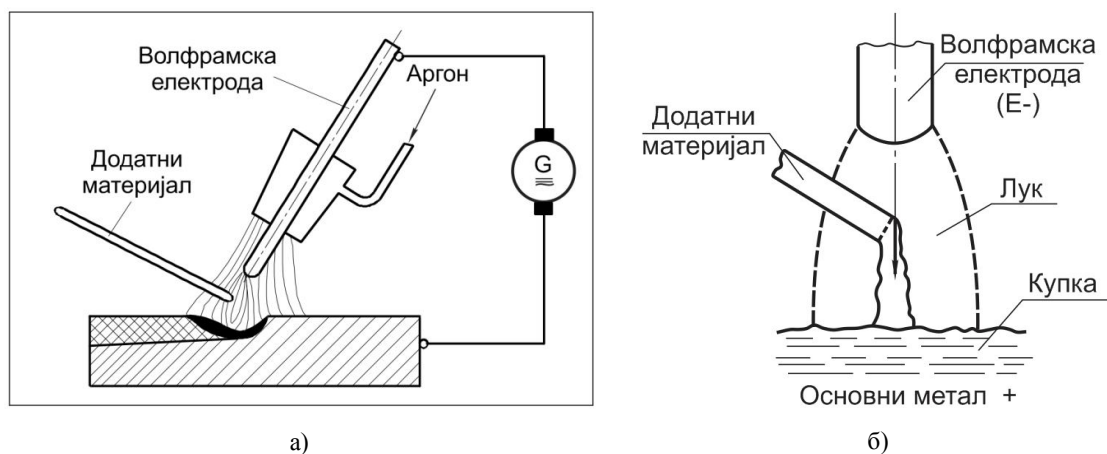
1.1.2 Обложене електроде

Основне улоге облоге електроде су:

- заштита зоне заваривања од околног кисеоника, азота и водоника;
- стабилизација и јонизација електричног лука;
- успоравање хлађења метала шав;
- пречишћавање и легирање метала шав;
- омогућавање заваривања у принудним положајима.

1.2 Електролучно заваривање нетопљивом електродном жицом у заштити гаса - ТИГ поступак

Електролучно заваривање нетопљивом електродом у заштити гаса је поступак спајања метала топљењем и очвршћавањем дела основног метала и додатног метала (жица за заваривање - ако се користи), при чему се као заштита користи инертан гас (активни гасови не долазе у обзир јер би изазвали оксидацију врха електроде). Шематски приказ електролучног заваривања приказан је на слици 1.3.



Слика 1.3 Шематски приказ електролучног заваривања нетопљивом електродом – ТИГ поступак

Овај поступак се скраћено обележава ТИГ или WIG (*T* од тунгстен - енглеска реч за волфрам (W) - материјал електроде, *IG* - инерт гас - енглески термин за инертни гас). Примена ТИГ поступка је велика, највише због врхунског квалитета споја, који се између осталог постиже бољом контролом унете топлоте и додатног метала захваљујући раздвајању улога додатног метала и електроде. Предности ТИГ поступка посебно долазе до изражаја код коренских пролаза одговорних спојева. С друге стране, ТИГ поступак није конкуретан осталим електролучним поступцима, посебно када је у питању економичност заваривања дебелих и дугачких лимова/плоча од обичних конструкционих челика.

За ТИГ поступак заваривања се користе наизменична и једносмерна врсте струје. Извори наизменичне струје су трансформатори, а једносмерне струје исправљачи и претварачи. Извори струје треба да обезбеде неопходну јачину струје и напон лука, као и лако успостављање лука и његову стабилност.

2. ОПИС ПОСТРОЈЕЊА И КОНСТРУКЦИЈЕ ПАРОВОДА

2.1 Опис типа котла

Термоелектрана ТЕ Костолац Б, поседује два блока појединачне снаге 350 MW са погоном на чврсто гориво (лигнит) и номиналним капацитетом од 1000 t/h. Једноцевни, мембранско заварени, SULZER котао са принудном циркулацијом (слика број 2.1). Огревна површина 41158 m². Дозвољеног притиска 186 bara и температуре суве паре 540°C. Конструисан је са једним међупрегрејањем, притиска 43.7 bara и температуром 540°C. Котао се ложи са угљеним прахом, помоћу осам тангенцијално постављених горионика. За кретање и стабилизацију користи мазутне горионике. Ложиште је са чврстим одводом шљаке. Котао је једноканални и по висини се може поделити на два дела. Доњи део котла - до коте 49.5 m - чини ложиште котла у које је смештен део испаривача и зидни прегрејач (прегрејач I). У горњи део котла - струјни тракт који се наставља на ложиште, смештене су грејне површине, поређане једна иза друге у правцу струјања димних гасова: излазни прегрејач (прегрејач III), међупрегрејач II, прегрејач II, међупрегрејач I и загрејач напојне воде (ЕКО) (*Прилог број 1 - Пресек котла*).



Слика 2.1 Термоелектрана Костолац Б

2.2 Рад блока

Будући да се заварена конструкција налази на парном делу котла, следи један кратак опис кретања паре у току рада блока.

2.2.1 Нормалан рад блока

Из котла, свежа пара притиска 186 бара и температуре 540°C преко паровода свеже паре (RA) долази у цилиндар високог притиска турбоагрегата (ЦВП). Из цилиндра високог притиска, преко хладне линије међупрегрејања (RC), пара долази у међупрегрејач котла. Из међупрегрејача, са притиском од 43.7 бара и температуром од 540°C, преко топле линије међупрегрејања (RB), пара долази у цилиндар средњег притиска (ЦСП). Из цилиндра средњег притиска преко спојних паровода пара се одводи на два цилиндра ниског притиска (ЦНП). Из цилиндра ниског притиска пара долази у дводелни површински кондезатор. Кондензат створен кондензовањем водене паре, се помоћу тзв. конденз пумпи а преко загрејача ниског притиска (ЗНП) и деаератора доводи у напојни резервоар.

2.2.2 Паралелан рад блока

Код овог рада турбоагрегат и BY-PASS системи раде паралелно, део паре иде кроз турбину а део кроз BY-PASS станице високог и ниског притиска. Овакав рад имамо код кретања и заустављања блока, као и у случајевима наглог делимичног растерећења турбоагрегата.

2.2.3 BY-PASS рад блока

Код овог рада пара не протиче кроз турбину - стоп вентили су затворени. Свежа пара из котла преко BY-PASS станице високог притиска долази у хладну линију међупрегрејања (RC) при чему се редукција притиска и температуре паре према задатом програму рада станице, с тиме да температура паре иза станице не прелази вредност од 335°C (*Прилог број 2 - Шема рада блока*).

Из хладне линије међупрегрејања, преко међупрегрејача и топле линије међупрегрејања (RB) пара долази на BY-PASS станицу ниског притиска. Из BY-PASS станице ниског притиска пара се одводи у пријемни уређај кондезатора, при чему се такође врши одговарајућа редукција притиска и температуре паре. Ток кондензата и напојне воде исти је као код нормалног рада блока.

2.3 Повезни цевовод П2-П3

Повезни цевоводи П2-П3 су прикључени на хоризонтални излазни колектор прегрејача П2, на коти + 57,5 m и повезани са вертикалним улазним колекторима прегрејача П3 на коти + 51,2 m (*Прилог број 3 - Геометрија повезног цевовода и распоред спојева*).

Приликом реконструкције блока Б2, 2012. године, када је на пароводу П2-П3 мењан систем ослањања, утврђено је да се паровод налази у изузетно лошем стању, те

да је замена цеви била неопходна. На лоше стање цевовода утицала је, пре свега, висока температура, тако да је паровод у радним условима био у зони интензивног пузања. Поред овога, на лоше стање је утицао и велики број стартовања и испадања блока. Урађен је пројекат у оквиру кога је предвиђена замена цевовода од излазних комора П2 на коти + 57,5 m, до улазних комора П3 на коти + 51,2 m.

Димензије излазних колектора прегрејача П2 су $\varnothing 324 \times 34$ mm, а материјал ENX20CrMoV12-1, док су димензије улазних колектора прегрејача П3 $\varnothing 273 \times 38$ mm, а материјал EN 10CrMo 9-10.

Димензије постојећег повезног паровода су $\varnothing 273 \times 36$ mm, а материјал EN 10CrMo9-10 и EN 13CrMo4-5. На повезним цевоводима П2-П3 налазе се по 2 регулисана убризгавања (тзв. II убризгавање - UE2). Вода за ово убризгавање узима се са цевовода напојне воде.

2.3.1 Параметри прегрејача 2 (П2)

- Температура паре на улазу $T_u = 447^\circ\text{C}$;
- Температура паре на излазу $T_i = 540^\circ\text{C}$,
- Притисак паре на улазу $P_u = 194,4$ bara;
- Притисак паре на излазу $P_i = 191,9$ bara.

Материјал EN 10CrMo9-10, димензије $\varnothing 38 \times 5$ mm.

2.3.2. Параметри прегрејача 3 (П3)

- Температура паре на улазу $T_u = 464^\circ\text{C}$;
- Температура паре на излазу $T_i = 540^\circ\text{C}$;
- Притисак паре на улазу $P_u = 190,9$ bara;
- Притисак паре на излазу $P_i = 187,4$ bara.

Материјал EN: X20CrMoV12-1, димензије $\varnothing 38 \times 5,6$ (6,3 и 8) mm.

2.3.3 Параметри повезног цевовода од прегрејача 2 до прегрејача 3 (П2-П3)

- радна температура $T = 474^\circ\text{C}$,
- притисак радни $P_r = 191,9$ bara,
- притисак испитни $P_{is} = 211,9$ bara,

Материјал EN 10CrMo9-10 и EN 13CrMo4-5, димензије $\varnothing 273 \times 36$ mm.

3. ОСНОВНИ МАТЕРИЈАЛ, КВАЛИТЕТ И ОСОБИНЕ

3.1 Својства челика за израду посуда под притиском

Челици за израду котлова у термоелектранама морају имати високу чврстоћу, не само на собној, већ и на радној (повишеној) температури [6]. Такође, челик мора поседовати и добра својства пластичности и жилавости да би био у стању да се супротстави неизбежним деформацијама при раду и ударима без појаве прелина. Челици за посуде под притиском морају имати одговарајућу чврстоћу и жилавост, а сем тога отпорност према деформацији пузањем при радној температури. Различити легирајући елементи се додају да се остваре различита захтевана својства. Легирање се врши додавањем молибдена (Mo), хрома (Cr) и ванадијума (V).

Додатак молибдена угљенично-манганском челику незнатно повећава чврстоћу на собној температури, али знатно утиче на чврстоћу на вишим температурама. Угљенично-мангански челик са 0,5% Mo се често користи за посуде под притиском. Међутим, његова пластичност при пузању је ограничена, па се због тога и ради повећања отпорности према корозији и оксидацији уводе хром-молибденски челици. Они могу садржати до 9% Cr и до 1% Mo. За израду цеви често се користи челик са 1% Cr и 0,5% Mo. За употребу на вишим температурама својства челика се могу побољшати већим додатком хрома и молибдена.

Даље повећање чврстоће пузања се постиже додатком ванадијума. Такви су челици називног састава 1% Cr-0,5% Mo-0,25% V и 0,5% Cr-0,5% Mo-0,25% V.

Табела 3.1 Нисколегирани челици отпорни на пузање

Челик (према DIN 17175)	Састав, %		Температура, °C	
			препоручена	непрепоручена
St35.8	-	-	380÷480	-
St45.8	-	C	-	-
17Mn4	нелегирани	(C-Mn)	380÷500	420
16Mo3	-	0,3Mo	450÷530	450
13CrMo4-5	-	1Cr-0,5Mo	450÷570	550
10CrMo9-10	легирани	2,25Cr-1Mo	450÷600	570
14MoV6-3	0,5Mo-0,3V	-	-	-
X20CrMoV12-1	12Cr-1Mo-0,3V	-	-	620

Табела 3.2 Подела челика на групе

Група	Тип челика
1	Челици са најмањим утврђеним напоном течења $R_e \leq 355$ МПа или затезном чврстоћом $R_m \leq 520$ МПа са хемијским саставом шарже која не прелази (у %): C = 0,24; Si = 0,55; Mn = 1,60; Mo = 0,65; S=0,045; P=0,045; Други поједини елементи = 0,3; Збир свих других елемената = 0,8;
2	Нормализовани челици или термомеханички ваљани финозрни са најмањим утврђеним напоном течења $R_e > 355$ МПа
3	Побољшани финозрни челици са најмањим напоном течења $R_e > 500$ МПа
4	Челици са Cr max. 0,6 %, Mo max. 0,5 %, V max. 0,25 %. Видети напомену 1.
5	Челици са Cr max. 9 %, Mo max. 1,2 %. Видети напомену 1.
6	Челици са Cr max. 12 %, Mo max. 1 %, V max. 0,5 %. Видети напомену 1.
7	Челици са Ni max. 9 %. Видети напомену 1.
8	Нерђајући феритни челици или мартензитни са садржајем Cr од 12 до 20 %. Видети напомену 1.
9	Аустенитни нерђајући челици.
НАПОМЕНА 1 - За групе 4 до 8 садржај легирајућих елемената односи се на хемијску анализу шарже.	

3.2 Материјал повезног цевовода П2 - П3 у ТЕ Костолац Б

Део повезног цевовода између излазних комора П2 и хладњака за убризгавање је од материјала EN 10CrMo9-10, а део цевовода између хладњака и улазних комора П3 је од материјала EN 13CrMo4-5.

Наведени материјали спадају у нисколегиране челике (пете групе), отпорне на пузање. Поседују гарантоване механичке особине на повишеним температурама (котловске цеви).

Табела 3.3 Хемијски састав основног материјала

Ознака челика	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %	Ni %	C %	Mo %	Al %
EN 13CrMo4-5	0,1- 0,17	max 0,35	0,4- 0,7	max 0,25	max 0,20	0,7- 1,15	max 0,30	max 0,30	0,40- 0,60	max 0,40
	0,12	0,23	0,49	0,011	0,003	0,9	0,10	0,17	0,49	0,019
EN 10CrMo9-10	0,08- 0,14	max 0,5	0,3- 0,7	max 0,25	max 0,20	2,0- 2,5	max 0,30	max 0,30	0,9- 1,10	max 0,40
	0,12	0,21	0,52	0,014	0,004	2,14	0,09	0,17	0,97	0,028

Табела 3.4 Механичке особине основног материјала

Ознака челика	Температура, °C	Затезна чврстоћа, R _m , МПа	Напон течења, R _{p0,2} , МПа	Граница еластичности, R _e , МПа	Издужење, A ₅ , %
EN 13CrMo4-5	20	468		341	32
	500	394	200	-	-
EN 10CrMo9-10	20	489		313	30,6
	500	385	205	-	-

Према хемијском саставу, наведени челици спадају у легиране челике. И то, према броју легирајућих елемената, спадају у вишеструко легиране челике. Према укупном садржају легирајућих елемената, спадају у нисколегиране челике (до 5% легирајућих елемената).

4. ПРОПИСИВАЊЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ ЗАВАРИВАЊА

Под технологијом заваривања подразумева се скуп операција које је потребно извести да би се направио заварени спој (избор поступка заваривања, избор основног и додатног материјала, припрема основног материјала, избор параметара заваривања и термичка обрада).

Обавеза извођача радова је да пре почетка заваривачких радова направи квалификацију поступка заваривања, која ће бити одобрена од акредитоване (квалификоване) лабораторије.

4.1 Избор поступка заваривања

Заваривање извршити: поступцима 111 (РЕЛ) - електролучно заваривање обложеном електродом и 141 (ТИГ) - електролучно заваривање нетопљивом волфрамском електродом у заштити аргона.

4.2 Избор додатног материјала

Критеријуми за избор додатног материјала су степен легираности и дебљина зида основног материјала, као и механичке особине чистог метала шава. За заваривање цеви са различитим основним материјалом (комбинација материјала). На основу расположивог дијапазона додатног материјала бира се додатни материјал одговарајућег степена легираности као основни материјал нижег квалитета.

Табела 4.1 Избор додатног материјала према основном материјалу и поступку заваривања

Основни материјал	Димензије mm	Поступак заваривања	Додатни материјал	
			Трговачки назив	Стандардна ознака
EN 13CrMo4-5/ EN 10CrMo9-10	Ø273×38	141	DCMS-IG (BÖHLER)	W Cr Mo1Si (EN ISO 21952-A)
		111	FOX DCMS Kb (BÖHLER)	E Cr Mo1 B 42 H5 (EN ISO 3580-A)
EN 13CrMo4-5	Ø273×32	141	DCMS -IG (BÖHLER)	W Cr Mo1Si (EN ISO 21952-A)
		111	FOX DCMS Kb (BÖHLER)	E Cr Mo1 B 42 H5 (EN ISO 3580-A)
EN 10CrMo9-10	Ø273×36	141	CM2-IG (BÖHLER)	W Cr Mo2Si (EN ISO 21952-A)
		111	FOX CM2 Kb (BÖHLER)	E Cr Mo2 B 42 H5 (EN ISO 3580-A)

Жица за заваривање мора бити сува, чиста и без трагова корозије. За заваривање корена (ТИГ поступком) користимо жицу пречника Ø 2.4 mm, а за поуну (РЕЛ поступком) користимо базичну електроду пречника Ø 2.5 mm и Ø 3.25 mm. Електрода се мора обавезно сушити 2 h на температури од 300÷350°C, препорука произвођача. Електроду на објекту приликом рада држати у тоболцима.

Табела 4.2 Хемијски састав додатног материјала за ТИГ поступак

Хемијски елемент, %	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	Nb
W Cr Mo1Si	0,10	0,58	0,94	≤ 0,006	0,010	1,16	0,48	0,03	0,03	≤ 0,01
W Cr Mo2Si	0,08	0,58	0,88	≤ 0,005	0,002	2,4	0,98	≤ 0,10	≤ 0,1	≤ 0,01

Табела 4.3 Механичке особине додатног материјала за ТИГ поступак

Ознака додатног материјала	Напон течења, R _{p0,2} , МПа	Затезна чврстоћа, R _m , МПа	Издужење, A ₅ , %	Ударна живавост, J
WCrMo1Si	440	520	22	47
WCrMo2Si	400	500	18	47

Табела 4.4 Хемијски састав додатног материјала РЕЛ поступак

Хемијски елемент, %	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	Nb
E CrMo1 B 42 H5	0,08	0,29	0,74	0,008	0,007	1,2	0,56	<0,1	≤ 0,1	≤ 0,01
E CrMo2 B 42 H5	0,08	0,3	0,8	≤0,010	0,007	2,3	1,0	<0,01	≤ 0,01	≤ 0,01

Табела 4.5 Механичке особине додатног материјала РЕЛ поступак

Ознака додатног материјала	Напон течења, R _{p0,2} , МПа	Затезна чврстоћа, R _m , МПа	Издужење, A ₅ , %	Ударна жилавост, J
E CrMo1 B 42 H5	460	550	20	47
E CrMo2 B 42 H5	510	640	22	180

4.3 Квалификација технологије заваривања

Стандардом SRPS EN 288 се утврђују бројне методе за квалификацију технологија заваривања.

После изведене припреме и пробног заваривања, врши се испитивање посебно припремљених узорака направљених од елемената завареног споја где су укључени основни материјал, ЗУТ и метал шава. Стандардом је предвиђена израда из извештаја о квалификацији технологије заваривања (WPR). То је документ који садржи све важне податке о заваривању испитног узорка неопходног за квалификацију спецификације технологије заваривања (*Прилог број 4 - Уверење о квалификацији технологије заваривања испитивањем завареног споја*).

4.3.1 Методе квалификације

Квалификација се потврђује у виду једног од следећих типова документације:

- претходно искуство у заваривању;
- проверени потрошни материјали;
- проба технологије заваривања;
- стандардна технологија заваривања;
- проба заваривања пре почетка производње.

4.3.2 Припрема

Произвођач мора да припреми рWPS. Радионица мора да обезбеди применљивост рWPS за стварну производњу, користећи искуство из претходне производње и општег познавања технологије заваривања.

Уколико испитивање обухвата заваривање испитних узорака, онда се они морају заварити у складу са рWPS (*Прилог број 5 - рWPS листа за заваривање узорка за квалификацију технологије*).

Овај рWPS је дат за пробно заваривање завареног споја за основни материјал EN10CrMo9-10. Примењени поступци заваривања су комбиновано ТИГ и РЕЛ (141/111). Тип споја је сучеони спој (BW), припремање крајева цеви брушењем. Димензија основног материјала $\varnothing 406 \times 38$ mm. Положај заваривања хоризонтални-вертикални (PC) и вертикални- на горе (PF).

Коренски завар се заварује ТИГ поступком, додатним материјалом (жицом) CM2-IG, јачина струје $70 \div 110$ A, једносмерна струја (DC) на негативном полу (E-). Попуна се заварује РЕЛ поступком, додатним материјалом (електродом) FOX CM2 Kb, јачина струје $80 \div 110$ A (за први пролаз) и $100 \div 140$ A (за остале пролазе), једносмерна струја (DC) на позитивном полу (E+). Електроде сушити на температури од $250 \div 350^\circ\text{C}$.

Заваривање коренског дела споја вршити у заштити аргона, протоком $8 \div 12$ l/min и волфрамовом електродом са 2% торијума.

Термичку обраду вршити према следећим параметрима:

- предгревање $T_p = 250 \div 300^\circ\text{C}$;
- жарење (отпуштање) $T_o = 730 \div 780^\circ\text{C}$;
- време оджаривања $t = 150$ min (4 min / 1 mm дебљине);
- брзина загревања и хлађења max 150°C/h .

Све технологије заваривања морају бити квалификоване пре него што се приступи заваривању у производњи.

4.3.3 Надзор

Све активности, укључујући припрему и упутства која се односе на заваривање, контролу и испитивање испитних узорака, морају бити оверене од стране испитивача или испитног тела (лице или организација, који проверавају усклађеност са стандардом SRPS EN 288-1.

4.3.4 Квалификација на бази провере технологије заваривања

Израда и испитивање завареног споја, који представља један од оних услова који ће се примењивати у производњи, а у циљу доказивања изводљивости технологије заваривања. Пробе технологије заваривања се морају извести у складу са стандардом SRPS EN 288-1. Стандардом SRPS EN 288-3 се утврђује поступак квалификације технологије заваривања испитивањем. Дефинишу се услови извођења испитивања и границе подручја важности квалификоване технологије заваривања и примењује се само на електролучно заваривање челика.

Напомена: Специфична употреба, материјал или услови производње могу да захтевају шири програм испитивања.

Додатна испитивања могу да буду:

- испитивање шава затезањем у подужном правцу;
- испитивање савијањем метала шава;
- испитивањем ударом по Шарпију на епрувети са V-зарезом;
- одређивање напона течења или границе деформације од 0,2%;
- одређивање издужења;
- хемијска анализа;

- испитивање макроструктуре и микроструктуре;
- одређивање садржаја δ -ферита у нерђајућим аустенитним челицима.

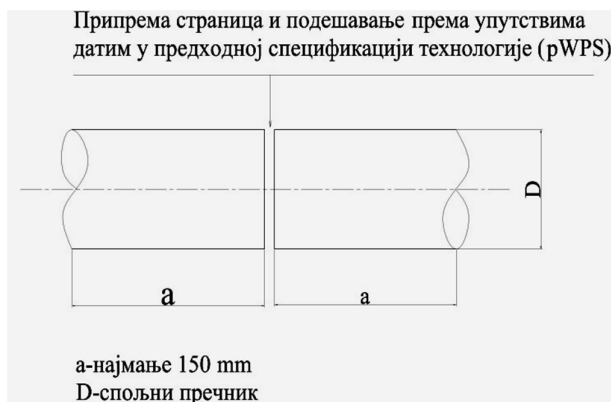
4.3.5 Проба технологије заваривања

Израда и испитивање испитних узорка који представљају врсту заваривања која се примењују у производњи, морају бити у складу са стандардом и заваривач који успешно изводи пробу технологије заваривања стиче уверење о стручној оспособљености за одговарајуће опсеге уверења дате у релевантном стандарду EN ISO 9606-1 (*Прилог број 6*).

4.3.6 Узорак за испитивање

Заварени спој на који ће се примењивати технологија заваривања у производњи представља се израдом једног или више стандардизованих испитних узорка. Испитни узорци морају да имају довољну величину како би се осигурала добра расподела топлоте (сл. 4.1).

Додатни испитни узорци или узорци већих мера од минималних могу се припремити ради посебних испитивања и/или поновљених испитивања. Заваривање као и контрола и испитивање испитног узорка морају да буду изведени под надзором испитивача или испитног тела.



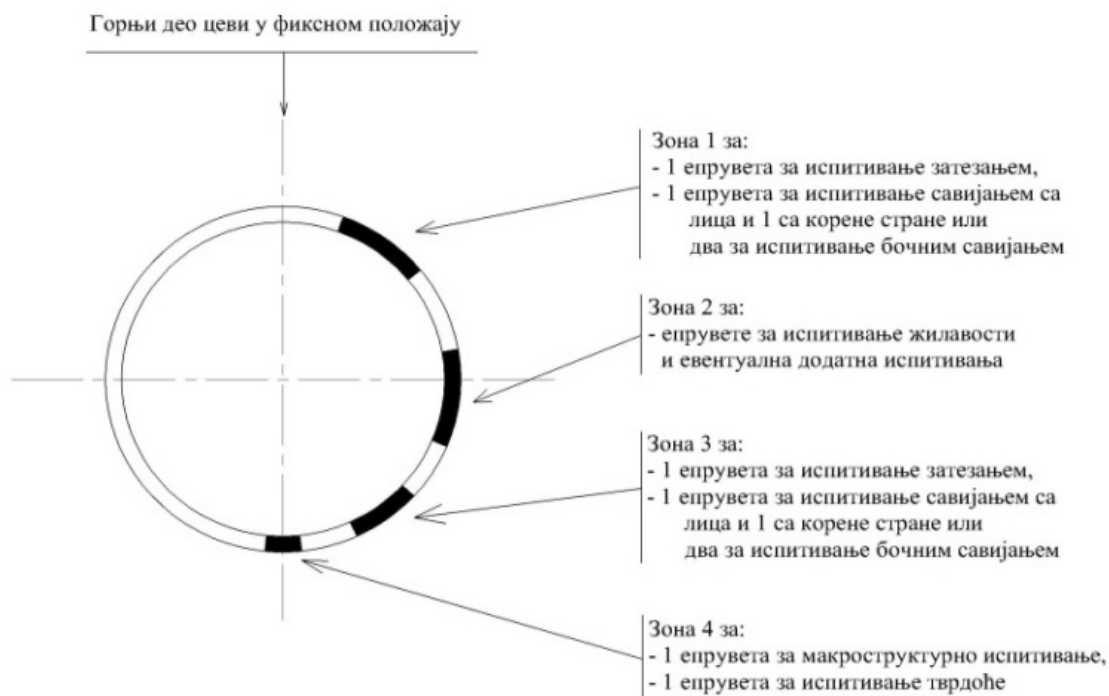
Слика 4.1. Узорак за сучеони спој на цевима

4.3.7 Контрола и испитивање

Контрола и испитивање обухватају контролу без разарања (NDT) (у националној терминологији се користи ИБР) и испитивање разарањем.

Првенствено се врше испитивања без разарања (ИБР), епрувете се узимају само ако су резултати контроле без разарања задовољавајући. Најпре се врши визуелна контрола (VT), према стандарду EN 970 и испитивање ултразвуком (UT), према стандарду EN 1714. Резултати испитивања ултразвуком су без налаза. Тако да је оцена за заварени узорак „прихватљиво“ (*Извештај испитивања ултразвуком у прилогу број 7*).

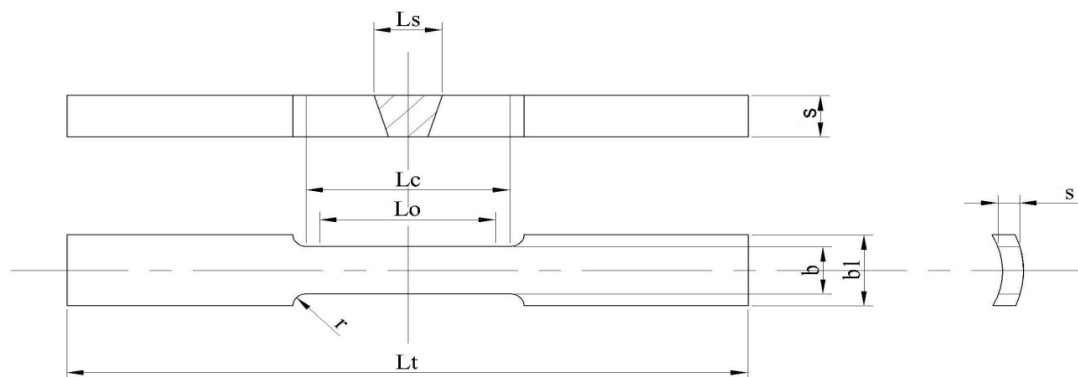
После ИБР-а врши се исецање узорака и припрема епрувета за поједина механичка испитивања. Положај епрувете треба да буде у складу са сликом 4.2. Дозвољено је узимање узорак и изван зона које садрже прихватљиве грешке.



Слика 4.2. Место (положај) исецања епрувета на сучеоном споју цеви

Епрувете и поступак *испитивања затезањем* на сучеоним спојевима морају бити према стандарду EN 895 (ISO 4136). За цеви спољашњег пречника > 50 mm надвишење шав се уклања са обе стране да би дебелина епрувете била једнака дебелини зида цеви.

Затезна чврстоћа епрувете по правилу не треба да буде нижа од називне вредности утврђене за основни материјал. Облик и димензије епрувета за испитивање затезањем дат је на слици број 4.3.



Слика 4.3 Облик и димензије епрувета за испитивање затезањем

Табела 4.6 Димензије епрувета за испитивање затезањем

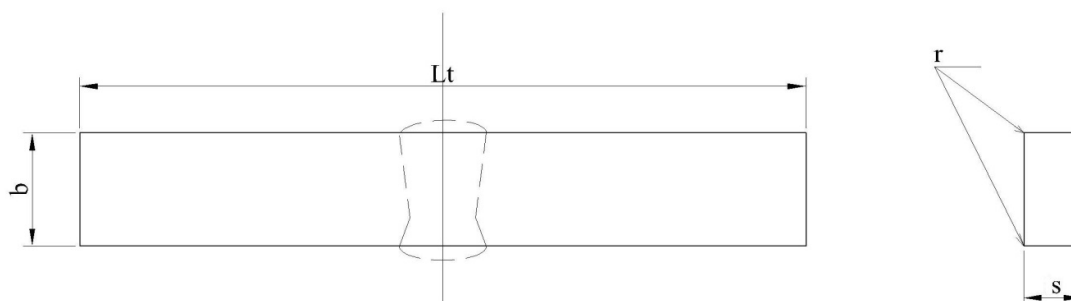
Назив	Симбол	Димензија, <i>mm</i>
Укупна дужина примерка	L_t	Да одговара машини за тестирање
Ширина рамена	b_1	$b+12$
Ширина паралелних дужина	b	6 за $D \leq 50$ 12 за $50 < D \leq 168,3$ 6 за $D > 168,3$
Паралелне дужине	L_c	$\geq L_s + 60$
Радијус рамена	r	≥ 25
Дебљина узорка	s	
Ширина споја	L_s	

Резултати добијени испитивањем затезањем су дати у табели. (Извештај испитивања затезањем у прилогу број 8).

Табела 4.7 Резултати испитивања затезањем

Р. бр. пробе	Положај заваривања	Димензије узорка, <i>mm</i>	Пресек, <i>mm</i> ²	Сила, N	Затезна чврстоћа	Оцена
					Захтевана 450÷600, МПа	
162	PF	25×11,7	292,5	152000	519,6	задовољава
163		25×11,7	292,5	151500	518,0	задовољава
164		25×11,5	287,5	154000	535,7	задовољава

Епрувете и поступак **испитивања савијањем** на сучеоним спојевима морају бити према стандарду EN 910 (ISO 5173). Епрувете се савијају помоћу трна или ваљака пречника 4t са углом савијања од 120°. У току испитивања на епруветама се ни уједном правцу не смеју јавити грешке, са дужином већом од 3 mm. Облик и димензије епрувета за испитивање савијањем дат је на слици број 4.4.



Слика 4.4 Облик и димензије епрувета за испитивање савијањем

Табела 4.8 Резултати испитивања затезањем

Симбол	Ознака	Јединица
b	Ширина узорка	mm
L _t	Иницијално растојање између контактних ваљака и средине завареног споја	mm
r	Радијус узорка	mm
t _s или (s)	Дебљина узорка	mm

Резултати добијени испитивањем савијањем су дати у табели 4.9 (*Извештај испитивања савијањем дат у прилогу број 8*).

Табела 4.9 Резултати испитивања савијањем

Р. бр. узорка	Положај заваривања	Димензије узорка, mm	Начин испитивања	Угао савијања, °		оцена
				треба	јесте	
162	PF	38×12	SBB	180	180	задовољава
163		38×12		180	180	задовољава
164		38×12		180	180	задовољава
165		38×12		180	180	задовољава

За макроструктурно испитивање епрувете морају да буду полиране а затим нагрижене реагенсом да би се јасно уочили линија топљења, ЗУТ и распоред завара.

Макроструктурно испитивање мора да обухвати и зону основног материјала изван ЗУТ-а (сл. 4.5) (*Извештај испитивања металграфијом дат у прилогу број 9*).



а)

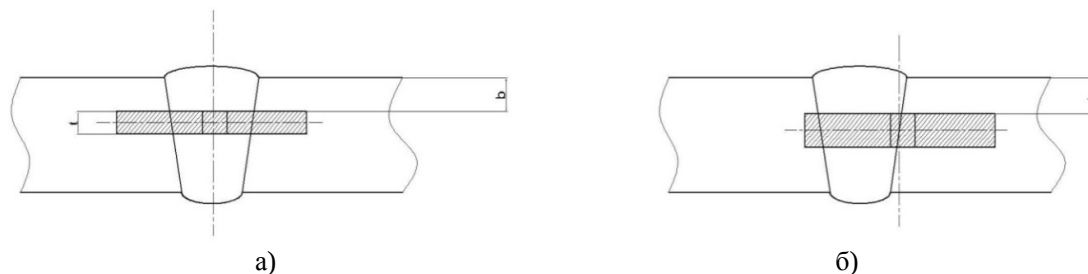
б)

Слика 4.5 Макроструктурни изглед завареног споја а) из РС и б) из РН положаја

За испитивање ударом припремљени су узорци-епрувете и испитивани су сучеони спојеви у складу са стандардом EN 875 (ISO 9016) у погледу узимања епрувета, температуре испитивања и поступка испитивања. Потребно је израдити читаве сетове епрувета за испитивање ударне жилавости (сет се састоји из накмање три епрувете из основног метала, метала шава и ЗУТ-а).

Епрувете типа Шарпи са V зарезом узимају са попречно на шав 1 до 2 mm испод површине. Зарез V је управан на површину шава. У ЗУТ-у зарез се налази 1 или 2 mm

од линије топљења, а у металу шава зарез је у оси шава. За наш случај је коришћена епрувета са испитивање метала шава епрувета типа VWT 0/b и за испитивање ЗУТ-а епрувета типа VHT 0/b, слика број 4.6.



Слика 4.6 Облик епрувета за испитивање ударом а) тип VWT 0/b и б) тип VHT 0/b

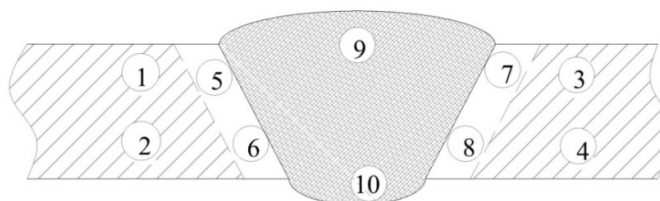
Температура испитивања или апсорбована енергија морају да буду у складу са предвиђеним пројектним захтевима за производ о којем се ради.

Резултати добијени испитивањем жилавости су дати у табели 4.7 (Извештај испитивања жилавости у прилогу број 8.)

Табела 4.7 Резултати испитивања жилавости

Редни број узорка	Положај заваривања	Положај жлеба	Жилавост, J	оцена
			Захтевана 34 J	
162	PF	VWT 0/2	44	задовољава
163		VWT 0/14	79	задовољава
164		VWT 0/26	25	не задовољава
165		VHT 0/2	206	задовољава
166		VHT 0/14	86	задовољава
167		VHT 0/26	197	задовољава

Испитивање тврдоће се спроводи према стандарду EN 1043 (ISO 9015). Примењује се Викерс HV 10. Отисци се изводе у металу шава, ЗУТ и основном материјалу тако да се добијају и региструју подручја вредности на завареном споју. Испитивање даје и везне линије при чему једна од њих треба да буде на највише 2 mm испод површине (сл. 4.7).



Слика 4.7 Места мерења тврдоће (основни материјал-ОМ, зона утицаја топлоте-ЗУТ и метал шава-МШ)

По линијама стапања потребно је да постоји најмање по три мерења (отиска) за сваку од зона: метал шава, ЗУТ (обе стране) и основни материјал (обе стране). Први отисак у ЗУТ-у мора бити што ближи линији топљења.

Резултати добијени мерењем тврдоће су дати у табели 4.8 (*Извештај мерења тврдоће у прилогу број 10*).

Табела 4.8 Резултати мерења тврдоће (HV 10)

Мерно место	Резултат	Мерно место	Резултат
Место број 1 ОМ	175÷178	Место број 6 ЗУТ	207÷213
Место број 2 ОМ	181÷188	Место број 7 ЗУТ	207÷225
Место број 3 ОМ	169÷173	Место број 8 ЗУТ	213÷227
Место број 4 ОМ	164÷175	Место број 9 МШ	219÷230
Место број 5 ЗУТ	203÷224	Место број 10 МШ	207÷215

Препоручене вредности тврдоћа према VGB 508 L норми:

- за основни материјал E N 10 CrMo 9-10 - 140÷190 HV,
- за метал шава ≤ 280 HV,
- за ЗУТ 320 HV.

Квалификација технологије заваривања остварена за челик из једне групе важи за све челике исте групе. Квалификација која је остварена применом више поступака заваривања важи само ако је редослед примене појединих поступака исти као она у поступку квалификације.

Остварена квалификација важи за све додатне материјале који припадају истој класи затезне чврстоће изузев када је прописано испитивање жилавости; промена типа облоге захтева ново испитивање за квалификацију;

Посебне одредбе за поједине поступке заваривања су:

- За поступак 111 квалификација важи и за случај примене првог мањег или већег пречника електроде и то за сваки завар, изузев за коренски завар изведен на споју, једнострано заварен без подлошке када није дозвољена промена пречника.
- За поступак 141 остварена квалификација је ограничена врстом гаса који се користи као подлошка са стране лица или корена (називни састав) који су коришћени у току испитивања за квалификацију.

4.4 Припрема основног материјала

Крајеви цеви за заваривање се припремају машински или ручно брушењем. У WPS листи су детаљно приказани облици жлебова. Упутства обухватају РЕЛ и ТИГ заваривање, уз прописан поступак заваривања коренског и првог наредног пролаза.

Чеона површина мора бити управна на осу цеви. Дозвољено одступање износи 1.5 mm за $D > 159$ mm.

Центрирање цеви се врши по унутрашњем пречнику. Дозвољено смицање је 0.5 mm. Правилно центриране цеви на месту шава износи 1 mm (на растојању 250 mm

од осе шава). Пре сучељавања цеви, жлеб и површине непосредно уз жлеб (ширине 10 mm) очистити до металног сјаја (са спољашне и унутрашње стране цеви).

После сучељавања обавља се припајање (приваривање) цеви под истим условима као и заваривање, односно са заваривачима који имају одговарајућа уверења о стручној оспособљености и са истим додатним материјалом и истим предгревањем. Припоји се распоређују равномерно по обиму цеви, а њихов број и димензије зависе од пречника цеви (усвојено је по четири "приварка").

Шавови се изводе из више завара (пролаза). Крај сваког завара треба пребрусити. Шавове се изводе са провареним кореном, без кратера и зареза са постепеним прелазом у основни материјал. Надвишење завара мора да буде $1\div 3$ mm, и са равномерном контуром лица шава. Заваривање (пошто је већи пречник) изводе два завривача у пару дијагонално распоређени у односу на осе цеви.

Прво се заварује коренски завар 141 (ТИГ) поступком са жицом пречника $\varnothing 2.4$ mm, затим за следећи завар користимо базичну електроду $\varnothing 2.5$ mm, а за остале заваре попуне користимо исту електроду пречника $\varnothing 3.25$ mm.

Радно место заваривача мора бити заштићено од атмосферских утицаја (киша, снег ветар, промаја). После заваривања заваривач је дужан да остварени спој означи жигом. Означавање се врши метал маркером.

4.5 Избор параметара заваривања

Као што је већ напоменуто коренски завар се изводи 141 (ТИГ) поступком. Заваривање треба изводити једносмерном (DC) струјом са нетопљивом електродом на „-“ полу. Јачина струје заваривања треба да се креће од $90\div 110$ A, а напон у границама од $10\div 12$ V.

За поуну - други и трећи пролаз, треба користити базичну електроду $\varnothing 2.5$ mm, а по препорукама произвођача истих треба изводити једносмерном струјом (DC) са електродом на „+“ полу. Јачина струје заваривања треба да се креће од $80\div 110$ A, а напон $19\div 22$ V.

За поуну од четвртог до n-тог (задњег) пролаза, треба користити базичну електроду пречника $\varnothing 3.25$ mm, такође са једносмерном струјом (DC) и електродом на „+“ полу. Јачина струје заваривања треба да се креће од $110\div 140$ A, а напон у границама од $23\div 24$ V.

Базичну електроду сушити у пећи по препоруци произвођача, а на радном месту електроду држати у преносним сушарама (тзв. "тоболцима").

Проток заштитног гаса (Ar) код ТИГ поступка је од $10\div 12$ l/min. Нетопљива електроде је волфрамова са 2% ThO (WC20) пречника $\varnothing 2.4$ mm.

Параметри заваривања су садржани у WPS листи (*Прилози број 11, 12 и 13 и WPS листе за три различита случаја основног материјала*). Подаци који су битни за заварени спој (објекат, пројекат, основни материјал, додатни материјал, заваривачи, координатор заваривања, ...), уносе се у дневник заваривања који се на дневном нивоу попуњава и предаје инвеститору (*Прилог број 14 - Дневник заваривања*).

4.6 Избор параметара термичке обраде

Термичка обрада представља поступак загревања, задржавања на одређеној температури и хлађења метала и легура ради постизања одређених структурних промена, тј. промена особина.

Параметри термичке обраде материјала су:

- Температура загревања (неопходна за промену постојећег стања),
- Брзина загревања (време потребно за постизање задате температуре по пресеку тела ради постизања термичке равномерности),
- Време одржавања на задатој температури и брзина хлађења (услов за крајње остварење циља - добијање одређених структурних особина и напонских стања достигнутих код загревања).

Циљ термичке обраде материјала после заваривања јесте да омогући смањење заосталих напона, отпуштање закалене зоне утицаја топлоте, побољшање микроструктуре и смањење садржаја водоника у металу шави и зони испод зава. При извођењу термичке обраде на вишим температурама и дужим временом трајања него што је потребно, термичка обрада може да узрокује смањење чврстоће и границе пузања, снижење жилавости и појаву прелина.

Параметри термичке обраде за одређену врсту челика бирају се на основу података из стандарда за челике и препоруке произвођача челика. Минимум показатеља променљивих величина (параметара) термичке обраде пре и после заваривања реализују се у склопу спецификације технологије заваривања (WPS).

Загревање радног предмета непосредно пре заваривања се назива предгревање. Режим предгревања дат је у табели 4.9.

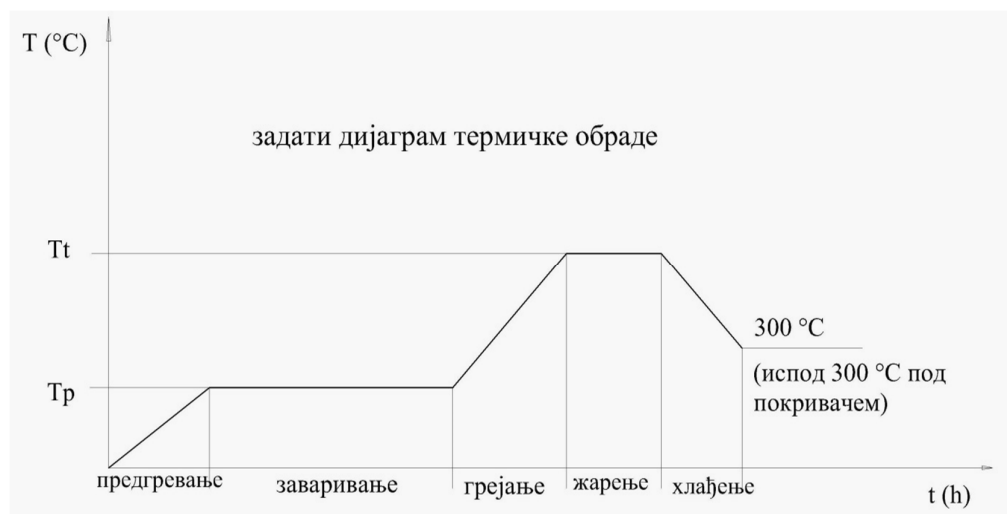
Табела 4.9 Параметри примењене термичке обраде

Основни материјал	Дебљина зида, mm	Метод предгревања	Температура предгревања T_p , °C	Измерена температура, °C	Темпер. међуслоја t_{max} , °C
EN 13CrMo4-5/ EN 10CrMo9-10	38	електроотпорско	200÷220	210	350
EN 13CrMo4-5	32	електроотпорско	190÷210	200	350
EN 10CrMo9-10	36	електроотпорско	240÷250	250	350

После заваривања неопходно је извршити накнадну термичку обраду, како би се постигле што боље карактеристике. Прописан режим накнадне термичке обраде приказан је у табели 4.10, док је целокупан режим термичке обраде дат на слици 4.8.

Табела 4.10 Параметри термичке обраде после заваривања

Основни материјал	Дебљина зида, mm	Метод жарења	Брзина загревања max, °C/h	Температура жарења T_z , °C	Контролисана температура °C	Време жарења, min	Брзина хлађења max, °C/h
E N 13CrMo4-5 / E N 10CrMo9-10	38	Електроотп.	150	670÷690	680	90	150
E N 13CrMo4-5	32	Електроотп.	150	640÷660	650	90	150
E N 10CrMo9-10	36	Електроотп.	100	710÷740	730	90	100



Слика 4.8 Дијаграм (режим) термичке обраде

Праћење изведене термичке обраде обухвата праћење процеса термичке обраде и проверу најважнијих карактеристика делова после изведене термичке обраде.

Начин праћења процеса термичке обраде је преко записа-дијаграма тока термичког циклуса, кога региструје писач, који прати промену температуре, а повезан је са одговарајућим термопаровима (термоелементима).

Мерење карактеристика обрађених делова је обично испитивање тврдоће на површини и металографска анализа микроструктуре на репрезентативном узорку, а код заварених спојева контрола се своди на испитивање тврдоће у металу шави и ЗУТ, и у посебним случајевима испитивање микроструктуре (узимање тзв. "реплика") завареног споја.

4.7 Опрема за термичку обраду

Подела опреме за термичку обраду дели се на две основне групе:

- стационарни уређаји, пећи за термичку обраду готових заварених производа или сегмената,
- покретни уређаји за локалну термичку обраду заварених спојева или термичку обраду целих сегмената, односно целог завареног производа.

Према начину загревања покретни електрични уређаји се израђују на принципу загревања електричним отпором и загревања индукцијом.

Опрема за електроотпорскозагревање састоји се од:

- компактног уређаја (енергетски извор, програматор и мерно-регулациони елементи),
- електричних грејача,
- електричних каблова,
- термоелемената,
- апарата за припајање (довођење у контакт) термоелемената и радног дела,
- апарата за баждарење термоелемената, термописача и терморегулатора.

Опрема је са два и више мерно регулационих канала, што омогућава истовремено жарење више шавова, различитих димензија.

Термоелементи (термопарови) као индикатори величине температуре, се постављају директно на грејну површину. Дијаграм добијен преко писача температура је документ - запис о стварно изведеном циклусу термичке обраде.

5. УТВРЂИВАЊЕ ВРСТЕ И ОБИМА КОНТРОЛЕ И КРИТЕРИЈУМА ПРИХВАТЉИВОСТИ У СВИМ ФАЗАМА РАДА

5.1 Контрола и испитивање

Избор методе за инспекцију заварених спојева за грешке (које се у заваривачкој терминологији означавају као дисконтинуитети) зависи од многих услова, укључујући и природу дисконтинуитета, приступачност споја, тип спојених материјала, број спојева које треба проверити, могућност откривања инспекцијске методе, потребан ниво квалитета и економски значај. Без обзира на изабрану методу, обавезно је придржати се установљених стандарда и процедура да би се дошло до валидних резултата контроле квалитета.

Испитивање без разарања заварених спојева има две функције:

- Контролу квалитета, која представља праћење обучености заваривача и опреме и квалитета потрошних и основних материјала у употреби.
- Прихватање или одбацивање оствареног шава према његовој подобности за употребу у радним условима конструкције.

При производњи заварених конструкција ИБР често чини завршну операцију. Инспекција (контрола) објекта се изводи с циљем да се открију и оцене грешке које могу утицати на функцију и интегритет конструкције. Недопустиве грешке се морају отклонити и та места поправити. Грешке се могу појавити у шаву, зони утицаја топлоте (ЗУТ) и у основном материјалу, лоциране на површини или у унутрашњости. За њихово откривање је од посебног значаја избор оптималне методе и технике ИБР.

Радни параметри заварене конструкције у току експлоатације утичу на критеријум прихватљивости грешака и обим ИБР. Начелно, заварена конструкција није завршена све док се захтевани квалитет не потврди одговарајућом контролом без разарања.

За испитивање хомогености заварених спојева методама без разарања користе се следеће методе испитивања:

- Визуелно-димензионални преглед, односно мерење пречника у две осе на 100 mm од осе шава (100%),
- Испитивање магнетним честицама (100%),
- Испитивање пенетрантним течностима (углавном приликом проширеног обима испитивања),
- Испитивање ултразвуком (100%),
- Радиографско испитивање (углавном приликом проширеног обима испитивања),
- Металографска испитивања (углавном приликом проширеног обима испитивања),
- Испитивање тврдоће (ОМ, МШ, ОМ), у 3 (три) изводнице на сваком споју по три мерења у свакој тачки.

Обележавање заварених спојева, колена и линија цевовода се врши према ознакама из тзв. "изометрика" цевовода (тродимензионално параметарско обликовање цевовода).

5.2 Збирка доказа о квалитету конструкције:

Односи се на следећи сет мера, као што су:

- квалификована технологија заваривања,
- спецификација технологије заваривања,
- дневник заваривања,
- уверење координатора за заваривање,
- уверења о квалитету основног материјала,
- уверења о квалитету додатног материјала,
- уверења о стручној способности заваривача,
- сертификати апарата за заваривање,
- извештаји о контроли заварених спојева,
- уверење особља за ИБР методе,
- сертификат апарата за термичку обраду,
- уверење о баждарењу писача,
- уверење оджаривача и др.

6. ЗАКЉУЧАК

У првом поглављу овог завршног рада најпре је дат кратак опис заваривања и указано на значај ове производне технологије. Такође, укратко су описане две примењиване методе заваривања (РЕЛ и ТИГ) при репаратури оштећеног котла у Термоелектрани Костолац Б (ТЕ Костолац Б).

У другом поглављу дат је детаљан опис рада котла у ТЕ Костолац Б и његових најважнијих целина: блокова, повезаних цевовода, прегрејача и осталих битних компоненти. Реч је пре свега о постројењу које ради при високим притисцима и повишеној температури. Дакле, посуде за рад под притиском и рад на повишеној температури подлежу посебним законским и другим прописима, односно ригорозној контроли и инспекцији.

У трећем поглављу наводе се, према одговарајућим стандардима (EN, DIN), најважније врсте материјала/челика намењених за израду и замену оштећених компоненти котла. Посебно се указује на најважније услове који ови материјали морају да задовоље. Реч је о дебелозидним цевима израђеним од посебне класе челика отпорних на пузање.

У четвртм, најобимнијем поглављу овог рада, врши се избор најповољније технологије заваривања. На конкретним примерима приказана је комплетна тзв. квалификација технологије заваривања са целокупном процедуром избора додатног материјала, поступка и параметара заваривања, режима термичке обраде, као и врсте и обима контроле заварених спојева, све у зависности од врсте основног материјала. На посебно припремљеним узорцима (моделима), тзв. "испитним пробама" изводе се најпре моделска испитивања. Она обухватају: проверу основног и додатног материјала, проверу уређаја за заваривање, избор претходне, текуће и накнадне термичке обраде, проверу степена обучености заваривача, припрему жлебова и чишћење страница тако припремљених проба и тсл. Затим се приступа избору метода заваривања (комбинованом заваривању - ТИГ/РЕЛ), одабиру параметара заваривања и самом заваривању тако припремљених проба. Тако заварени узорци се подвргавају методама контроле без разарања и са разарањем и на основу позитивно добијених резултата приступа реалном заваривању одговорних компонената котла. У овој глави, укључујући и наведене прилоге, детаљно се описује спроведена процедура. Све ове процедуре су "покривене" комплетном документацијом која мора бити у сагласности са строгим прописима и одговарајућим стандардима из ове области.

На крају, треба истаћи, да је прописана технологија заваривања примењена на реалном парном котлу и показала се веома поузданом. Ово је још један пример успешне примене ове технологије у енергетици и процесној техници. До ње се није дошло случајно, већ применом најновијих техничко-технолошких сазнања из ове области и обимним експерименталним испитивањима.

7. ЛИТЕРАТУРА

1. М. Јовановић, В. Лазић: *Технологија ливења и заваривања*, Факултет инжењерских наука у Крагујевцу, Крагујевац, 2015.
2. М. Јовановић, В. Лазић, Д. Арсић, *Наука о материјалима I*, универзитетски уџбеник, Факултет инжењерских наука у Крагујевцу, Крагујевац, 2017.
3. М. Јовановић, В. Лазић: *Практикум гасног (ГПЗ) и аргонског (ТИГ) заваривања*, помоћни универзитетски уџбеник, Машински факултет у Крагујевцу, Крагујевац, 2011.
4. М. Јовановић, В. Лазић: *Практикум РЕЛ и МАГ/МИГ заваривања*, помоћни универзитетски уџбеник, Машински факултет у Крагујевцу, Крагујевац, 2008.
5. М. Јовановић, Д. Адамовић, В. Лазић: *Технологија заваривања - приручник*, друго проширено и допуњено издање, Крагујевац, 2011.
6. V. Lazić, D. Arsić, R. Nikolić, D. Rakić, S. Aleksandrović, M. Đorđević, B. Hadzima, Selection and analysis of material for boiler pipes in a steam plant, *Procedia Engineering*, Vol. 149, pp. 216-223, 2016, Doi 10.1016/j.proeng.2016.06.659.
7. Прилози: Фабричка документација везана за комплетну репаратуру котла Термоелектране Косталац Б, 2016. година.

Списак приложених докумената (прилога):

Прилог бр. 1: Пресек котла

Прилог бр. 2: Шема рада блока

Прилог бр. 3: Геометрија повезног цевовода и распоред спојева

Прилог бр. 4: Уверење о квалификацији технологије заваривања испитивањем завареног споја

Прилог бр. 5: rWPS листа за заваривање узорка за квалификацију технологије

Прилог бр. 6: Уверење о стручној оспособљености заваривача

Прилог бр. 7: Извештај испитивања ултразвуком

Прилог бр. 8: Извештај испитивања затезањем, савијањем и ударом

Прилог бр. 9: Извештај испитивања металографијом

Прилог бр. 10: Извештај мерења тврдоће

Прилог бр. 11: WPS листа за заваривање E N 13CrMo4-5

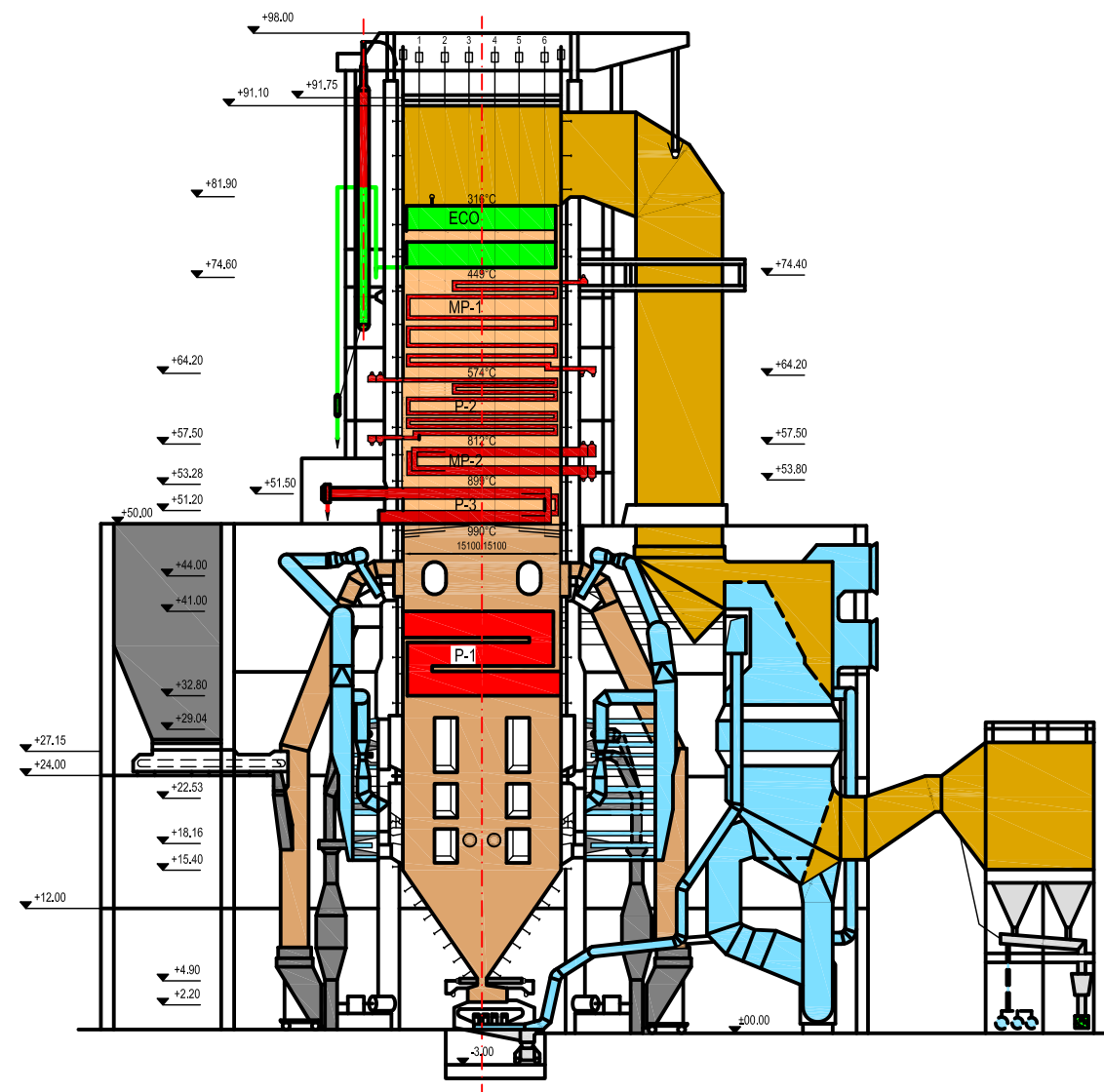
Прилог бр. 12: WPS листа за заваривање EH 10CrMo9-10/13CrMo4-5

Прилог бр. 13: WPS листа за заваривање EN 10CrMo9-10

Прилог бр. 14: Дневник заваривања

FORMAT A1 594x841=0.50m²

FILE NAME: sl_4.dwg

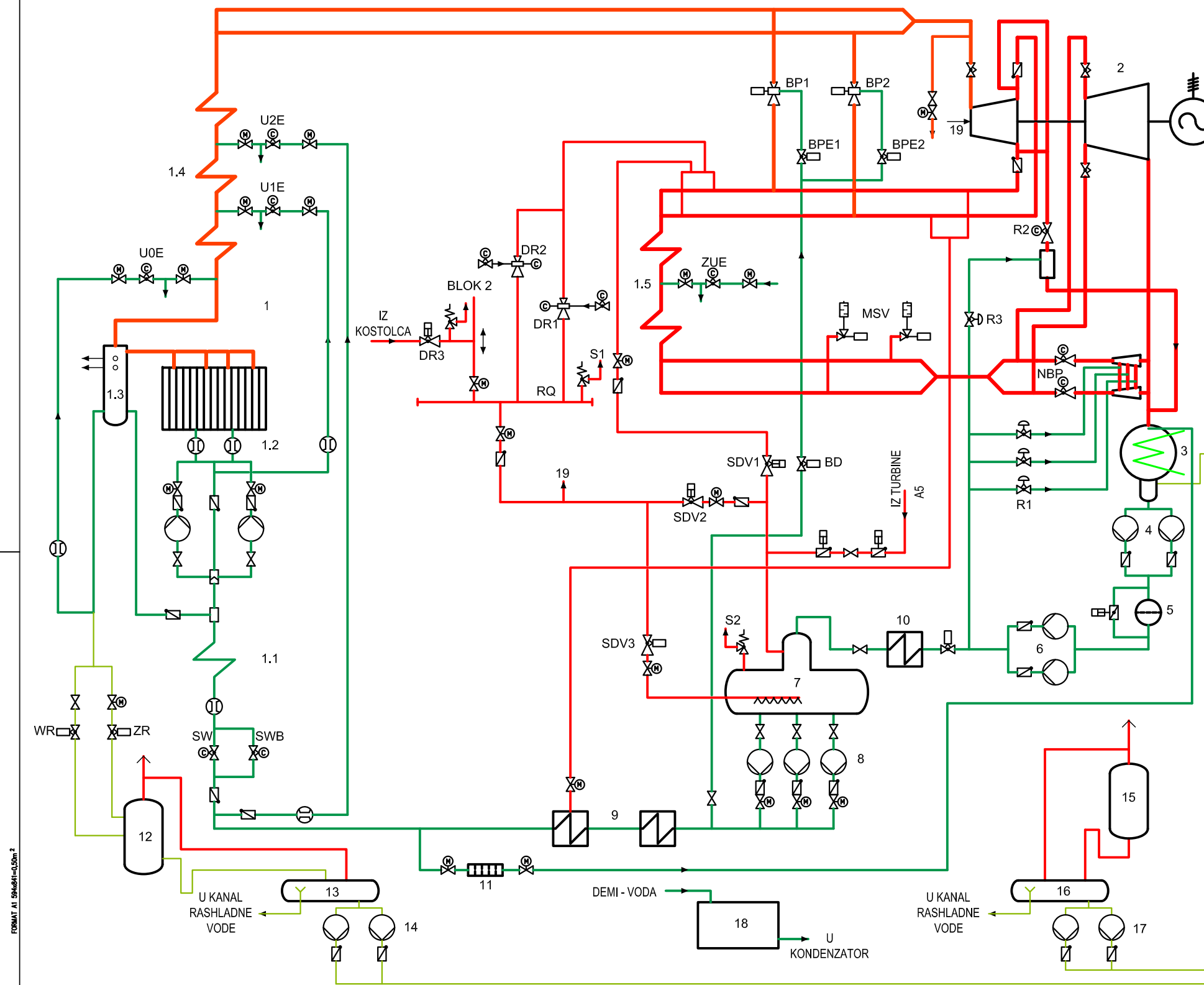


		ECO	→ 254°C ; 204,6 bar ← 318°C ; 202,6 bar			
		ISP	→ 337°C ; 206,7 bar ← 364°C ; 202,5 bar			
"O"	→ 364°C ←	NA32	→ 364°C ; 202,3 bar ←	ISPAR		Ø30x5/Ø44,5x5,6
		P1	→ 364°C ; 200,4 bar ← 374°C ; 195,4 bar	ECO		Ø38x4,5 , 184x2
"I"	→ 374°C ← 369°C	P2	→ 369°C ; 194,0 bar ← 474°C ; 191,9 bar	MP-I		Ø60x3,6 , 92x7
"II"	→ 474°C ← 464°C	P3	→ 464°C ; 190,9 bar ← 540°C ; 187,4 bar	P-2		Ø38x4/4,5/5 , 92x7
		IZLAZ	→ 540°C ; 186,0 bar ←	MP-II		Ø60x4,5/6,3/8 , 46x8
		MP1	→ 334°C ; 45,5 bar ← 469°C ; 45,0 bar	P-3		Ø38x5,6/6,3/8 , 20x28
"III"	→ 469°C ← 447°C	MP2	→ 447°C ; 44,8 bar ← 540°C ; 43,75 bar	P-1		Ø38x5,6/6,3 , 4x60
				OVESNE CEVI		Ø38x5,6/6,3 , 92x6

4						
3						
2						
1						
REV.	OPIS	DATUM	PROJEKTOVAO	KONTROLISAO	ODOBRIO	ODOBRIO

INVESTITOR:		OBJEKAT:	
JP EPS BEOGRAD		TE KOSTOLAC B	
PROJEKTOVAO		UGOVOR BROJ:	PROJEKAT:
OBRADIO			
KONTROLISAO			
ODOBRIO			
ODOBRIO			
		FAZA:	SIST./OBJ.:
		DATUM:	CRTE:
		sept. 1974.	SULZER -
RAZMERA:	1:500	REDNI BROJ:	JEDNOCEVNI GENERATOR PARE
TERMEOELEKTRANA		CRTE: BROJ:	
		EKT-ENEL AD	
R A D		LIST 1 OD 1 REV. 0	

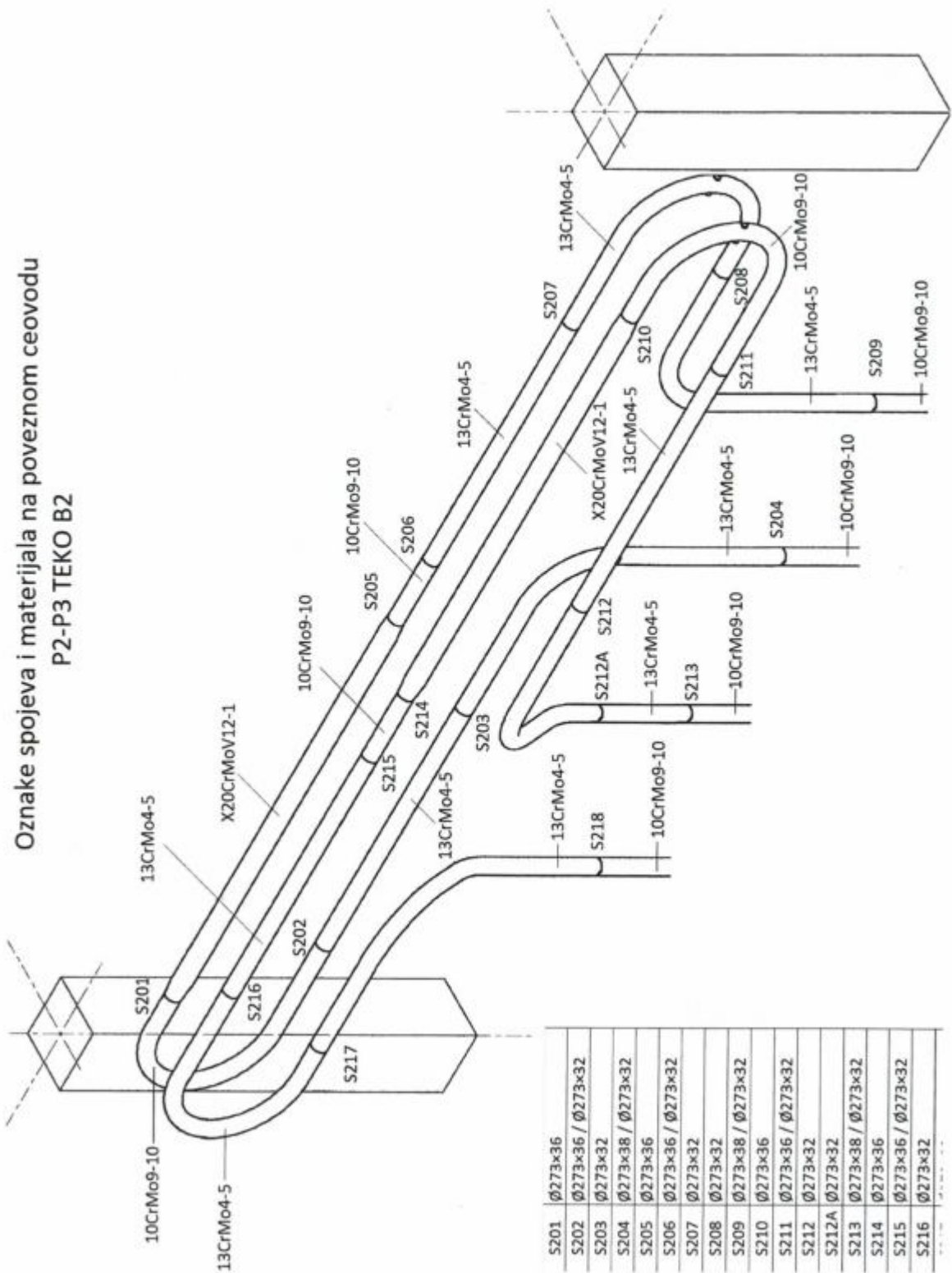
ŠEMA STARTOVANJA BLOKA (POJEDNOSTAVLJENJA) I PARAMETRI STARTNIH I BYPASS SISTEMA



1. SULZER
VP PARAMETRI MCR G=277.8kg/s p=186bar t=540°C
PRORAČUNSKI PARAMETRI p=206bar t=545°C
SP PARAMETRI MCR G=246.9/254kg/s p=46.1/43.8bar t=334/540°C
PRORAČUNSKI PARAMETRI p=53bar t=545°C
- 1.1 EKONOMIZER
1.2 ISPARIVAČ / CIRCULACIONE PUMPE 2X100% V=0.561m³/s ΔH=73.3m
1.3 SEPARATOR PARE-FLAŠA
1.4 PREGREJAJ PARE
1.5 MEĐUPREGREJAJ PARE
2. TURBINA ZAMEH (LICENCA BBC) n=3000min⁻¹ 348.5MW
ULAZNI PARAMETRI PARE TURBINE VP MCR G=277.8kg/s p=179bar t=537°C
ULAZNI PARAMETRI PARE TURBINE SP/MP MCR G=246.18kg/s p=42.4bar t=537°C
3. KONDENZATOR
SA STARTNIM PARNIM EJEKTOROM G=2.8kg/s
SA 3(2 RADNE +1 REZERVNA) VAKUM PUMPA
ZAPREMINA REGULACIONE POSUDE KONDENZATORA 11.5m³
UKUPNA ZAPREMINA KONDENZATORA 27m³
MAX. TEMP. NA ULAZU KONDENZATORA BEZ/SA VAKUOM t<46/105°C
4. KONDEZNZ PRED-PUMPE
2x100% PO G=211.1kg/s
RAZLIKA PRITISKA Δp=7.8bar
5. PREČIŠĆAVANJE KONDENZATA (HPK)
3 LINIJE PO G=11.1kg/s
MAX. ULAZNA TEMPERATURA 46°C
6. GLAVNE KONDEZNZ PUMPE
2x100% PO G/min=211.1/227.8kg/s
RAZLIKA PRITISKA Δp=51.5/51.5kg/s
7. NAPOJNI REZERVOAR
PRORAČUNSKI PRITISAK p=13.5bar
RADNI PRITISAK MCR/MIN p=11.1/1.2bar
RADNA TEMPERATURA MCR/MIN t=184.5/104.8°C
ZAPREMINA PRI Hmax V=212m³
ZAPREMINA PRI Hnom V=190m³
ZAPREMINA PRI Hmin V=140m³
BRUTO ZAPREMINA V=242m³
8. NAPOJNE PUMPE (SIGMA-LUTH) 3X50% SA VOHT REGULACIONOM SPOJNICOM MCR/RY-PASS
PROTOK PO G=138.9/159.7kg/s
PRITISAK NA POTSU PUMPE p=225/235bar
ODUZIMANJE ZA UBRIZGAVANJA PO G=2.6/max.8.3kg/s
MAKSIMALNI PRITISAK NA POTSU PUMPE p=350bar
MINIMALNI PROTOK PRI p=310bar Gmax=51.5kg/s
9. ZAGREJAJI VISOKOG PRITISKA 1 LINIJA SA BYPASS-om
TEMPERATURA NAPOJNE VODE MCR t=256°C
PRORAČUNSKI PRITISAK p=320bar
PRE UKLJUČENJA TURBINE ZAGREJAJ VP STARTIJE HLADNOG MEĐUPREGREJAJOM PAROM
NAPOJNA VODA G=83.3kg/s t=111/189°C; PARA G=12kg/s p=12bar t=337°C
10. ZAGREJAJI NISKOG PRITISKA 1 LINIJA SA BYPASS-om
TEMPERATURA GLAVNOG KONDENZATA IZ ZNP t=155°C
11. RECIRKULACIONO HEMIJSKO PREČIŠĆAVANJE N. VODE
PARAMETRI G=61.1kg/s t=20-56°C
PAD PRITISKA NA PRISUSNOG Δp=210bar
JATO-DIZNE U KONDENZATORU Δp=10bar
12. KOTLOVSKI EKSPANDER
RADNI/PRORAČUNSKI PRITISAK p=3/7bar
ZAPREMINA V=24m³; TEMPERATURA t=250°C
13. REZERVOAR KOTLOVSKIH DRENAŽA
RADNI/PRORAČUNSKI PRITISAK p=1/5bar
ZAPREMINA V=20/24m³; TEMPERATURA t=120°C
14. PUMPE KOTLOVSKIH DRENAŽA
2 PUMPE PO V=0.0433m³/s ΔH=20m
15. EKSPANDER MAŠINSKE SALE
RADNI/PRORAČUNSKI PRITISAK p=1.5bar
ZAPREMINA V=5.0m³; TEMPERATURA t=110°C
16. REZERVOAR DRENAŽA MAŠINSKE SALE
RADNI/PRORAČUNSKI PRITISAK p=1.2bar
ZAPREMINA V=10.0m³; TEMPERATURA t=100°C
17. PUMPE DRENAŽA MAŠINSKE SALE
2 PUMPE PO V=0.0025m³/s ΔH=27m
18. REZERVOAR DEMI-VODE (HLADNI KONDENZAT)
V=150m³
19. ZAPITIVNA PARA ZA TURBINU NORMALNO IZ CEVOVODA SVEŽE PARE
STARTOVANJE SA KOLEKTORA POMOĆNE PARE G=1.39kg/s t=250°C
- BP 1 I 2 BYPASS VP SA SIGURNOSNIM VENILOM SVEŽE PARE (SULZER)
MAX. IZDUVNI PROTOK G=2x147.7=283.4kg/s
PRITISAK ISPRED VENILA BYPASS-a p=180.3bar
PRITISAK OTVARANJA VENILA SIGURNOSTI p=199.7bar
TEMPERATURA ISPRED VENILA t=538°C
- BPE 1 I 2 VENILI UBRIZGAVANJA U BYPASS VP
BD MAX. PROTOK VODE G=2x22.7=45.4kg/s
TEMPERATURA ISPRED VENILA t=169°C
- MSV SIGURNOSNI VENIL MEĐUPREGREJANE PARE (SULZER) 2 PARELELNA
MAX. IZDUVNI PROTOK G=2x169.8kg/s
PRITISAK ISPRED VENILA p=51bar
TEMPERATURA ISPRED VENILA t=540°C
PRITISAK OTVARANJA JE KLIZNI
- NBP VENIL BYPASS-a NP 2 PARELELNA
MAX. IZDUVNI PROTOK G=2x166.7=333.4kg/s
PRITISCI ISPRED VENILA p=40bar
TEMPERATURA ISPRED VENILA t=540°C
MINIMALNI PRITISAK OTVARANJA p=2bar
PRI TEMPERATURI RASHLADNE VODE OD 28°C G=444.4kg/s
(PARA-VODA ZA UBRIZGAVANJE) MOŽE SE NEOGRANIČENO DUGO VODITI U KONDENZATOR
VREME OTVARANJA NP BYPASS-a 10sec.
- R1 VENILI UBRIZGAVANJA VODE U BYPASS NP3 PARELELNA
UKUPAN PROTOK VODE ZA UBRIZGAVANJE G=122.2kg/s
PRITISAK ISPRED VENILA p=28bar
- R2 VENIL STARTA TURBINE VP (STARTNI BYPASS NISKOG PRITISKA)
PROTOK PARE G=26.1kg/s
PRITISAK ISPRED VENILA p=12.5bar
- R3 VENIL UBRIZGAVANJA IZA R2
PROTOK VODE ZA UBRIZGAVANJE G=8.3kg/s
PRITISAK ISPRED VENILA p=20bar
- SW REGULACION VENIL NAPAJANJA KOTLA
PARAMETRI G=245.1kg/s Δp=2.4bar
- SWB VENIL BYPASS-a REGULACIONOG VENILA NAPAJANJA KOTLA
PARAMETRI G=32.8kg/s Δp=2.4bar
- UOE UBRIZGAVANJE VP O 2 PARELELNA
PARAMETRI G=2x4.85=9.7kg/s
- U1E UBRIZGAVANJE VP 1 2 PARELELNA
PARAMETRI G=2x15.5=31kg/s
- U2E UBRIZGAVANJE VP 2 4 PARELELNA
PARAMETRI G=4x4.65=18.6kg/s
- ZUE UBRIZGAVANJE U MEĐUPREGREJAJU PARU 4 PARELELNA
PARAMETRI G=4x3.4=13.6kg/s
- ZR VENIL STARTNE REGULACIJE KOTLOVSKE VODE
PROPUSNOST VENILA G=60.1kg/s Δp=4.5bar
- WR DRENAŽA SEPARATORA PARE
PROPUSNOST VENILA G=24.9kg/s Δp=4.6bar
- RQ KOLEKTOR SOPSTVENE POTROŠNJE
p=10bar t=200/250°C
- DR1 REDUCIR RASHLADNE STANICE ZA KOLEKTOR SOPSTVENE POTROŠNJE
REGULACIONI OPSEG PRI MCR cca. 1:5
PRITISAK ISPRED VENILA MCR/MIN p=45.4/12.3bar
PROTOK MCR/MIN G=47/9.8kg/s
TEMPERATURA ISPRED VENILA MCR/MIN t=337°C
- DR2 REDUCIR RASHLADNA STANICA ZA KOLEKTOR SOPSTVENE POTROŠNJE
ZA MANJE SNAGE (LETNJI POGON)
REGULACIONI OPSEG PRI MCR 1:7.5
PRITISAK ISPRED VENILA MCR/MIN p=45.5bar
PROTOK MCR/MIN G=7.5kg/s
TEMPERATURA ISPRED VENILA MCR/MIN t=337°C
- DR3 REDUCIR RASHLADNA STANICA ZA KOLEKTOR SOPSTVENE POTROŠNJE
PARE IZ KOSTOLCA
G=19.4kg/s
- S1 SIGURNOSNI VENIL NA KOLEKTORU POMOĆNE PARE 4 PARELELNA
PARAMETRI G=67.8kg/s p=14bar
- SDV1 HLADNA MEĐU PARA ZA DEAEATOR (RE71S311)
PARAMETRI PRI p=43/28.5bar G=35/23kg/s OGRANIČENO
- SDV2 VENIL ZA DEAEACIJU NAPOJNOG REZERVOARA (RE75S312)
PARAMETRI PRITISAK POMOĆNA PARA/NAPOJNI REZERVOAR p=10/1.2bar
G=13.9kg/s
- SDV3 PREDGREVANJE NAPOJNOG REZERVOARA (RE72S411)
PARAMETRI PRITISAK POMOĆNA PARA/NAPOJNI REZERVOAR p=10/1.2bar
G=3.61kg/s
- S2 SIGURNOSNI VENIL NA NAPOJNOM REZERVOARU 4 PARELELNA
PARAMETRI G=4x26=104kg/s PRI p=13.5bar

REV.	OPIS		DATUM	PROJEKTOVAO	KONTROLISAO	ODOBRILO	ODOBRILO		
INVESTITOR:			OBJEKT:						
JP EPS-BEOGRAD			TE KOSTOLAC B						
PROJEKTOVAO		USLOV BROJ:	PROJEKT:						
OBRADIO			PROJEKAT IZVEDENOG STANJA						
KONTROLISAO		FAZA:	SIST./OBJ.:						
ODOBRILO									
ODOBRILO		DATUM:	ORTEK:						
		Sept. 2017.	PRINCIPIJELNA STARTNA ŠEMA BLOKA						
RAZMERA:	-	REDNI BR.:	ORTEK BROJ:						
TERMORLEKTRANA KOSTOLAC									
KOSTOLAC									
			LIST				01	00	01
							REV.	0	

Прилог бр. 3: Геометрија повезног цевовода и распоред спојева



Прилог бр. 4: Уверење о квалитету технологије заваривања испитивањем завареног споја

ТЕ КОСТОЛАЦ Б	УВЕРЕЊЕ О КВАЛИФИКАЦИЈИ ТЕХНОЛОГИЈЕ ЗАВАРИВАЊА ИСПИТИВАЊЕМ	Извештај бр. Датум: Лист: Листова:	
---------------	--	---	--

УВЕРЕЊЕ

О КВАЛИФИКАЦИЈИ ТЕХНОЛОГИЈЕ ЗАВАРИВАЊА ИСПИТИВАЊЕМ WPQR

Спецификација технологије произвођача: _____

Испитивач или испитна организација: _____

Место и адреса: _____ ТЕ Костолац Б

Произвођач: _____

Датум заваривања: _____

Опсег квалитету: _____ EN ISO 15614-1, сучеони спој BW

Поступак заваривања: _____ 141/111

Основни материјал: _____ E N 10CrMo9-10: групе 5.2

Услови испоруке: _____

Дебљина основног материјала, mm: _____ 38 mm; подручје важности од 19÷75 mm

Пречник основног материјала, mm: _____ Ø406 mm; подручје важности од ≥ 203 mm

Тип додатног материјала: _____ CM2-IG/FOX CM2 Kb

Заштитни гас/прашак: _____ Аргон (99,999%)

Врста струје за заваривање: _____ DC (-)/DC (+)

Положај заваривања: _____ PF важи за све положаје, осим за PG и J-LO45

Предгревање: _____ 250÷300°C

Термичка обрада после заваривања: _____ Брзина загревања и хлађења, max 150°C/h; температура загревања 730÷780°C; време одржавања 4 min/mm.

Остали подаци: _____

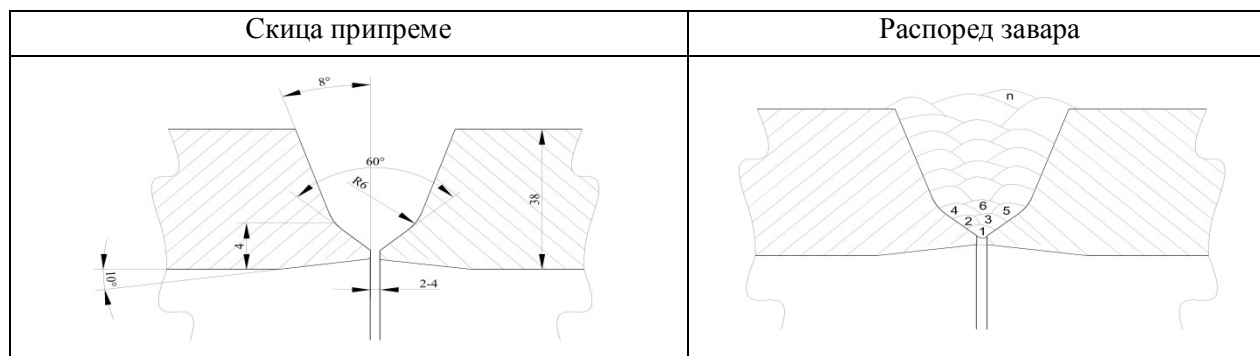
Потврђује се да је испитивани спој припремљен, заварен и испитан у складу са захтевима наведених прописа и стандарда. Уверење се издаје на основу извештаја о испитивању број _____.

Место: _____ Датум: _____ Име и потпис: _____

Прилог бр. 5: pWPS листа за заваривање узорка за квалификацију технологије

ТЕ Костолац Б	СПЕЦИФИКАЦИЈА ТЕХНОЛОГИЈЕ ЗАВАРИВАЊА	датум:	
		лист	листова

Место: ТЕ КОСТОЛАЦ Б Контролор и место контроле: _____
 Назив дела: _____ Начин припреме и чишћења: БРУШЕЊЕ
 Прозвођач: _____ Спецификација основног материјала: Е N 10CrMo9-10
 Име заваривача и идентиф. број: _____ Дебљина основног материјала, mm: 38
 Поступак заваривања: 141/111 Пречник основног материјала, mm: Ø406
 Тип споја: BW Положај заваривања: PF; PC
 Позиција израде: Квалификација технологије заваривања



Режим заваривања:

Завар	Поступак	Пречник додатног материјала, mm	Јачина струје, А	Напон, V	Врста струје/ поларитет
1	141	Ø2,4	70-130	10-12	DC/-
2	111	Ø2,5	80-110	19-22	DC/+
3-п	111	Ø3,25	100-140	23-24	DC/+

Додатни материјал (класификација и ознака):
CM2-IG; EN ISO 21952-A; WCrMo 2 Si;
FOX CM2 Kb; EN ISO 3580-A; E CrMo2 B 42
H5;

Поступак прописан за сушење:

ЕЛ. 2 h на 250-350°C;

Заштитни гас/прашак: - лице

АРГОН (99,9 %) EN 439;

- корена _____

Проток гаса: - лице 8-12 l/min;

- корена

Тип волфрамове електроде/пречник: Ø2,4

WC20;

Детаљи жлебљења или подлоге:

Детаљи жлебљења или подлоге: _____

Израдио: _____

Температура предгревања: 250-300°C ;

Температура међуслоја: _____

Термичка обрада: 730-780°C електро;

Време, температура, поступак: 4 min/ mm;

Брзина грејања и хлађења: 150°C/h;

Остали подаци: _____

Нпр. њихање (max ширина гусенице): ≤ 3d

електроде;

Осциловање; амплитуд. Фреквенција, вр.

Задржавања: _____

Растојање котактне чауре: _____

Детаљи плазма завара: _____

Угао подешавања горионика: _____

Оверио: _____

Прилог бр.6: Уверење о стручној оспособљености заваривача

УВЕРЕЊЕ О СТРУЧНОЈ ОСПОСОБЉЕНОСТИ ЗАВАРИВАЧА

Ознака: EN ISO 9606-1 141/111 T BW FM4 S/B s14.2 D159 PH-PC ss nb/ss mb

Име и презиме заваривача: _____ Број: _____

Идентификација: _____ Жиг: _____

Датум и место рођења: _____ Врста идентификације: ЈМБГ

Послодавац: _____ Фотографија: _____

Ознака стандарда: EN ISO 9606-1:2013

Спецификација технологије заваривања произвођача: _____

Познавање струке: _____

	Подаци о испитном узорку	Подручје одобрења
Поступак заваривања	141 111	141,142,143,145 111
Лим или цев	T	P,T
Тип споја	BW,FW	BW,BW
Група основног материјала	5	-
Група додатног материјала	FM4	BM1,FM2,FM3,FM4
Додатни материјал/ознака	S B	S,M A,B,RA,RB,RC,RR,R
Заштитни гас	EN ISO 14175-II	EN ISO 14175-II -
Помоћни материјали	-	-
Врста струје и поларитет	DC (-) DC (+)	-
Дебљина материјала (mm)	FW : 14.2	≥ 3 mm
Дебљина материјала шава (mm)	BW:4 10.2	3÷8 mm 3÷20 mm
Спољашњи пречник цеви (mm)	159	≥ 79.5 mm
Положај заваривања	BW:PC;PH FW:PH	PA,PB,PC,PE,PF,PH,PD,H-L045
Жљебљење/подлошка	BW: ss nb ss mb	ss nb, ss mb, bs, ss gd, ss fb ss mb, bs
Једнослојни/вишеслојни	FW: ml	fw: sl,ml

Врста испитивања	Извршено и прихватљиво	Не захтева се
Визуелно	X	-
Радиографија	X	-
Прелом	X	-
Савијање	-	X
Затезање	-	X
Макроструктурно	-	X
Додатна испитивања *)	-	X

*) Приложити посебан лист,ако је потребно

Продужење уверења од стране испитивача или испитног тела за наредне 2 године (према т. 10.2)

Продужење уверења од стране послодавца / координатора за наредних 6 месеци

Датум	Потпис	Звање или функција

(према т. 10.2)

Датум	Потпис	Звање или функција

Уверење важи до:

Прилог бр. 7: Извештај испитивања ултразвуком

ТЕ КОСТОЛАЦ Б	ИЗВЕШТАЈ О ИСПИТИВАЊУ УЛТРАЗВУКОМ ЗАВАРЕНИХ СПОЈЕВА	Извештај бр. Датум: Лист: Листова:	
---------------	--	---	--

НАРУЧИЛАЦ И АДРЕСА: ТЕ Костолац Б							ОБЈЕКАТ:				
ОПРЕМА (ЛИНИЈА) Квалификација технологије заваривања							ЦРТЕЖ:				
ДАТУМ ИСПИТИВАЊА:			КРИТЕРИЈУМ ПРИХВАТЉИВОСТИ EN 1712				МАТЕРИЈАЛ: EN 10CrMo9-10				
ИСПИТИВАЊЕ ПРЕ/ПОСЛЕ ТЕРМИЧКЕ ОБРАДЕ:						ПОСТУПАК ЗАВАРИВАЊА: 141/111					
ИСПИТИВАЊЕ ПРЕМА EN 1714						КВАЛИТЕТ ПОВРШИНЕ:					
КЛАСА ИСПИТИВАЊА:			АПАРАТ: USK-7			КОНТАКТНО СРЕДСТВО: Тапетол					
ИСПИТНЕ ГЛАВЕ: MWB 60°						ТЕСТ БЛОКОВИ: B-2					
УПОРЕДНИ ДЕФЛЕКТОР: KSR-2											
Разлика у појачању на блоку и испитном комаду: 18 dB			Слабљење звука:				Основно појачање: 22 dB				
Број споја или позиције:	Димензије, mm	Испитна глава			Растојање		Висина ехоа, dB	Регистрована дужина, mm	Дубина, mm	Оцена	
		Позиција сонде	угао °	φ MHz	Од нулте тачке	Од средине споја				Прихватљиво	Неприхватљиво
	Ø 406×38	A	60	4	-	-	-	-	-	+	
Испитивање извршио:						Водећи инжењер за испитивања МБР:					
_____						_____					

Прилог бр. 8: Извештај испитивања затезањем, савијањем и ударом

ТЕ КОСТОЛАЦ Б	ИЗВЕШТАЈ О ИСПИТИВАЊУ ЗАВАРЕНИХ СПОЈЕВА	Извештај бр. Датум: Лист: Листова:	
---------------	--	---	--

Наручилац,адреса и број наруџбенице: ТЕ Костолац Б												
Објект: Испитни узорак за квалификацију поступка заваривања (интерна ознака узорка за испитивање ТС-2863)												
Презиме и име заваривача:												
Проба рађена по: EN ISO 15614-1										Група: 5.2		
Основни материјал: EN 10CrMo9-10										Димензије, Ø406×38, mm		
Додатни материјал: CM2-IG/FOX CM2 Кб										Димензије, Ø2.4/2.5/3.2, mm		
Метода заваривања: 141/111												
ДИМЕНЗИОНАЛНА И ВИЗУЕЛНА КОНТРОЛА (EN 970)										ИЗГЛЕД ПРЕЛОМА		
Врста споја	положај	Надвишење шава		Оцене					Грешке корена	Шљака и порозност	Напрсине и грешке везивања	Оцена
		Треба	Јесте	димензионална	Изглед лица	Зарез и порозност	Изглед корена	укупно				
Сучеони BW	РФ	До 4.3 mm	Брушено на раван основног материјала	зад	за д	зад	з а д	зад				
2. РАДИОГРАФСКА КОНТРОЛА ПО:						3. ОЦЕНА МАКРОСТРУКТУРЕ						
Број протокола	положај	налаз		оцена		налаз					Оцена	
4. ПОДАЦИ О ТЕРМИЧКОЈ ОБРАДИ												
Предгревање: 250÷300°C; температура: 730÷780°C, .време: 30 min/ mm; Брзине загревања и хлађења: мах 150°C/h												

МЕХАНИЧКЕ ПРОБЕ												
5а. ИСПИТИВАЊЕ САВИЈАЊЕМ ПО: EN 910												
Ред.бр. пробе	положај	Димензије, mm:	Начин испитивања	Угао савијања		Оцена	ИЗГЛЕД ПРЕЛОМА					Оцена
				Треба	Јесте		место	Грешке корена	Троска и порозност	Напрсине и грешке везивања		
162	P	38×12	SBV	180	180	зад						
163	F	38×12		180	180	зад						
164	P	38×12	SBV	180	180	зад						
165	F	38×12		180	180	зад						
5б. ИСПИТИВАЊЕ ЗАТЕЗАЊЕМ ПО: EN 895												
Ред.бр. пробе	положај	Димензија, mm	Пресек, mm ²	Сила, N	Затезна чврстоћа, МПа	Затезно издужење, %	место	Грешке корена	Троска и порозност	Напрсине и грешке везивања	Оцена	
					Захтевана 450÷600 МПа							
162	PF	25×11,7	292,5	152000	519,6						зад	
163		25×11,7	292,5	151500	518,0						зад	
164		25×11,5	287,5	154000	535,7						зад	
5в. ИСПИТИВАЊЕ ЖИЛАВОСТИ ПО: EN 875												
Ред. бр. пробе	положај	Положај жлеба	Пресек, cm ²	Жилавост	ИЗГЛЕД ПРЕЛОМА		Оцена					
				Захтевана 34 J								
162	PF	BWT 0/2		44								
163		BWT 0/14		79								
164		BWT 0/26		25								
165		BXT 0/2		206								
166		BXT 0/14		86								
167		BXT 0/26		197								
Резултати испитивања задовољавају захтеве стандарда: EN ISO 1564-1												
Испитивање извршили:				Водећи инжењер за испитивања MCR:								
_____				_____								

Прилог бр. 9: Извештај испитивања металографијом

ТЕ КОСТОЛАЦ Б	ИЗВЕШТАЈ О МЕТАЛОГРАФСКОМ ИСПИТИВАЊУ	Извештај бр. Датум: Лист: Листова:	
---------------	---	---	--

НАРУЧИЛАЦ И АДРЕСА: ТЕ Костолац Б	ДАТУМ ИСПИТИВАЊА:
ОБЈЕКАТ: Испитни узорак за квалификацију поступка заваривања (интерна ознака узорка за испитивање ТС-2863)	ПОЗИЦИЈА: узорак ТС-2863
ПОДАЦИ О ИСПИТИВАНОЈ ПОЗИЦИЈИ	
ДЕБЉИНА ОСНОВНОГ МАТЕРИЈАЛА: 38 mm	
ПРЕЧНИК ОСНОВНОГ МАТЕРИЈАЛА: Ø 406 mm	
МАТЕРИЈАЛ: EN 10CrMo9-10	
ПОДАЦИ О ИСПИТИВАЊУ	
ОПРЕМА ЗА ИСПИТИВАЊЕ: Уређај за сечење металографских узорака „Дискотон 2“, Уређај за обраду и полирање металографских узорака, произвођач „Тиос“	
ПРИПРЕМА ПОВРШИНЕ: Брушена	СТАНДАРД: EN 1321

Макроструктурним испитивањем завареног споја нису уочени недозвољени дефекти (укључи, заједи, налепљивање, прслине итд.).

Повећање 1:1



Изглед макроструктуре попречног пресека завареног споја -Узорак ТС-2863

Металографска лабораторија:

Прилог бр. 10: Извештај мерења тврдоће

ТЕ КОСТОЛАЦ Б	ИЗВЕШТАЈ О МЕРЕЊУ ТВРДОЋЕ МАТЕРИЈАЛА	Извештај бр. Датум: Лист: Листова:	
---------------	---	---	--

НАРУЧИЛАЦ И АДРЕСА: ТЕ Костолац Б						ДАТУМ ИСПИТИВАЊА:					
ОБЈЕКАТ: Испитни узорак за квалификацију поступка заваривања (интерна ознака узорка за испитивање ТС-2863)											
ПОДАЦИ О ИСПИТИВАНОЈ ПОЗИЦИЈИ											
МАТЕРИЈАЛ: EN 10CrMo9-10						ТЕРМИЧКА ОБРАДА: Не					
ДИМЕНЗИЈЕ: Ø406×38 mm											
ПОДАЦИ О ИСПИТИВАЊУ											
ОПРЕМА ЗА ИСПИТИВАЊЕ: Vikers, HV10						КРИТЕРИЈУМ ПРИХВАТЉИВОСТИ: EN ISO 15614-1					
ПРИПРЕМА ПОВРШИНЕ: полирана						СТАНДАРД: EN 1043-1					
РЕЗУЛТАТИ МЕРЕЊА ТВРДОЋЕ МАТЕРИЈАЛА (HV10)											
Мерно место	Мерна тачка	резултат	Мерно место	Мерна тачка	резултат	Мерно место	Мерна тачка	резултат	Мерно место	Мерна тачка	резултат
	1	175		9	227		17	181		25	227
	2	176		10	230		18	188		26	222
	3	178		11	207		19	213		27	213
	4	203		12	212		20	207		28	175
	5	213		13	173		21	225		29	164
	6	224		14	169		22	212		30	164
	7	230		15	170		32	207			
	8	219		16	183		24	215			
Скица мерних места:											
Напомена:											
Испитивање извршили:						Водећи инжењер за испитивања MCR:					
_____						_____					

Прилог бр. 11: WPS листа за заваривање E N 13CrMo4-5

ТЕ Костолац Б	СПЕЦИФИКАЦИЈА ТЕХНОЛОГИЈЕ ЗАВАРИВАЊА	датум:	
		лист	листова

Место: ТЕ КОСТОЛАЦ Б

Контролор и место контроле: _____

Назив дела: Повезни цевовод П2-П3

Начин припреме и чишћења: БРУШЕЊЕ

Прозвођач: _____

Спецификација основног материјала: EN 13CrMo4-5

Име заваривача и идентиф. број: _____

Дебљина основног материјала: 32 mm

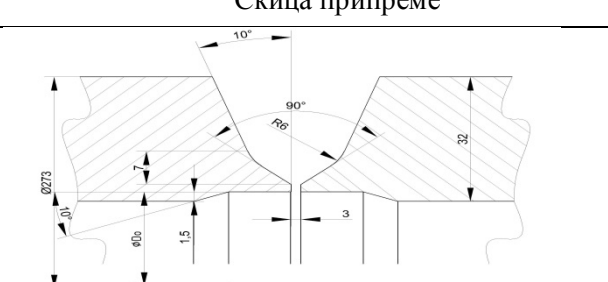
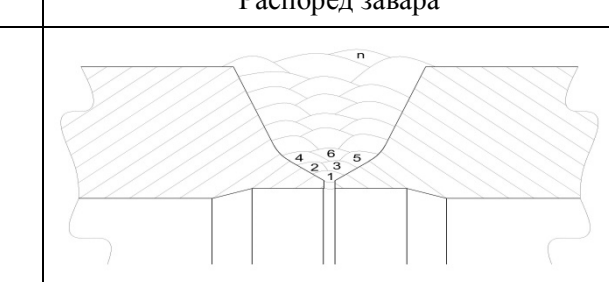
Поступак заваривања: 141/111

Пречник основног материјала: Ø 273 mm

Тип споја: BW

Положај заваривања: РН; РС

Позиција израде: ЦЕВОВОД

Скица припреме	Распоред зава
	

Режим заваривања:

Завар	Поступак	Пречник додатног материјала	Јачина струје, А	Напон, V	Врста струје/ поларитет
1	141	Ø2,4	90-110	10-12	DC/-
2,3	111	Ø2,5	80-100	19-22	DC/+
4-n	111	Ø3,25	100-140	23-24	DC/+

Додатни материјал (класификација и ознака):
DCMS -IG; EN ISO 21952-A; W Cr Mo1Si;
FOX DCMS Kb; EN ISO 3580-A; E CrMo1 B 42 H5;
Поступак прописан за сушење: ЕЛ. 2 h на 300-350° C;
Заштитни гас/прашак: - лице АРГОН (99,9 %)
EN 439;

-корена _____

Проток гаса: - лице 10-12 l/min;

- корена

Тип волфрамове електроде/пречник: Ø2,4 WC20;

Детаљи жљебљења или подлоге:

Детаљи жљебљења или подлоге: _____

Израдио: _____

Температура предгревања: 190-210°С;

Температура међуслоја: max 350 °C;

Термичка обрада: 640-660 °C електро;

Време, температура, поступак: min 90 мин;

Брзина грејања и хлађења: 150°С/х;

Остали подаци: _____

Нпр. Њихање(макс.ширина гусенице):

max. 3d;

Осциловање; амплитуда, фреквенција, вр.

Задржавања: _____

Растојање котактне чауре: _____

Детаљи плазма зава̀ра:_____

Угао подешавања горионика: _____

Оверио: _____

Прилог бр. 12: WPS листа за заваривање EH 10CrMo9-10/13CrMo4-5

ТЕ Костолац Б	СПЕЦИФИКАЦИЈА ТЕХНОЛОГИЈЕ ЗАВАРИВАЊА	датум:	
		лист	листова

Место: ТЕ КОСТОЛАЦ Б

Назив дела: Повезни цевовод П2-П3

Прозвођач: _____

Име заваривача и идентиф. број: _____

Поступак заваривања: 141/111

Тип споја: BW

Позиција израде: Цевовод

Контролор и место контроле: _____

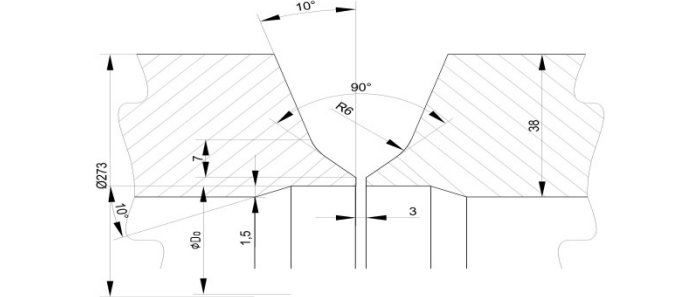
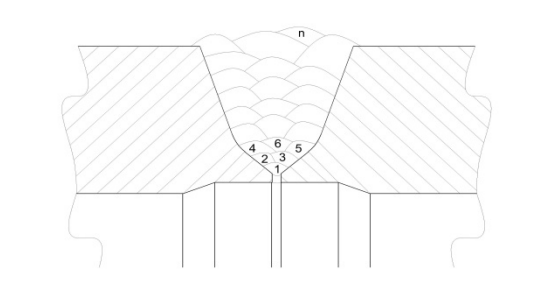
Начин припреме и чишћења: БРУШЕЊЕ

Спецификација основног материјала: EN10CrMo9-10/13CrMo4-5

Дебљина основног материјала: 38 mm

Пречник основног материјала: Ø 273 mm

Положај заваривања: РН; РС

Скица припреме	Распоред зава
	

Режим заваривања

Завар	Поступак	Пречник додатног материјала	Јачина струје, А	Напон, V	Врста струје поларитет
1	141	Ø2,4	90-110	10-12	DC/-
2,3	111	Ø2,5	80-100	19-22	DC/+
4-п	111	Ø3,25	100-140	23-24	DC/+

Додатни материјал (класификација и ознака): DCMS-IG; EN ISO 21952-A; WCrMo 1 Si; FOX DCMS Kb; EN ISO 3580-A; E CrMo1 B 42 H5;

Поступак прописан за сушење: ЕЛ. 2 h на 300-350°C;

Заштитни гас/прашак: - лице

АРГОН (99,90 Ар) EN 439;

- корена _____

Проток гаса: - лице 10-12 l/min;

- корена _____

Тип волфрамове електроде/пречник:

Ø2,4 WC20;

Детаљи жљебљења или подлоге: _____

Израдио: _____

Температура предгревања: 200-220°C ;

Температура међуслоја: max 350°C;

Термичка обрада: 670-690°C електро;

Време, температура, поступак: min 90 min;

Брзина грејања и хлађења: 150°C /h;

Остали подаци: _____

Нпр. Њихање(макс.ширина гусенице): max 3d;

Осциловање; амплитуд. Фреквенција, вр.

Задржавања: _____

Растојање контактне чауре: _____

Детаљи плазма зава: _____

Угао подешавања горионика: _____

Оверио: _____

Прилог бр. 13: WPS листа за заваривање EN 10CrMo9-10

ТЕ Костолац Б	СПЕЦИФИКАЦИЈА ТЕХНОЛОГИЈЕ ЗАВАРИВАЊА	датум:	
		лист	листова

Место: ТЕ КОСТОЛАЦ Б

Назив дела: Повезни цевовод П2-П3

Прозвођач: _____

Име заваривача и идентиф. број: _____

Поступак заваривања: 141/111

Тип споја: BW

Позиција израде: Цевовод

Контролор и место контроле: _____

Начин припреме и чишћења: БРУШЕЊЕ

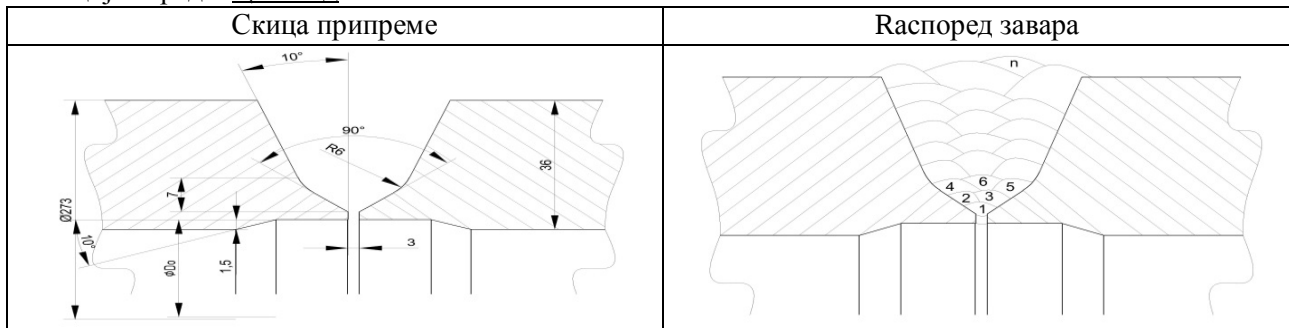
Спецификација основног материјала:

EN10CrMo9-10

Дебљина основног материјала: 36 mm

Пречник основног материјала: Ø273 mm

Положај заваривања: РН; РС



Режим заваривања

Завар	Поступак	Пречник додатног материјала	Јачина струје, А	Напон, V	Врста струје/ поларитет
1	141	Ø2,4	90-110	10-12	DC/-
2,3	111	Ø2,5	80-100	19-22	DC/+
4-п	111	Ø3,25	100-140	23-24	DC/+

Додатни материјал (класификација и ознака):

CM2-IG; EN ISO 21952-A; WCrMo 2 Si; FOX CM2 Kb; EN ISO 3580-A; ECrMo2 B 42 H5;

Поступак прописан за сушење: ЕЛ. 2 h на 300-350°C;

Заштитни гас/прашак: - лице

АРГОН (99,90 Ar) EN 439;

-корена

Проток гаса:

- лице 10-12

l/min;

- корена

Тип волфрамове електроде/пречник: Ø2,4

WC20;

Детаљи жљебљења или подлоге: _____

Израдио: _____

Температура предгревања: 240-250°C ;

Температура међуслоја: max 350°C;

Термичка обрада: 710-740°C електро;

Време, температура, поступак: минимум 90 min;

Брзина грејања и хлађења: 150°C /h;

Остали подаци: _____

Нпр. њихање (макс.ширина гусенице): max 3d;

Осциловање; амплитуд. Фреквенција, вр.

Задржавања: _____

Растојање котактне чауре: _____

Детаљи плазма завара: _____

Угао подешавања горионика: _____

Оверио: _____

Прилог бр. 14: Дневник заваривања

ТЕ КОСТОЛАЦ Б	ДНЕВНИК ЗАВАРИВАЊА За дан _____	Лист бр.	Листова:
			Ревизија:

Инвеститор: ТЕ Костолац Б	Градилиште: ТЕ-КО Б	Објекат: Б2, П2-П3;
Нацрт бр.:	Дебљина основног материјала : max 32; 36 mm;	
Ознака квалитета основног материјала: EN 10CrMo9-10; EN 13CrMo4-5;	Уговорени прописи: SRPS EN	

Извођач:	Координатор:	Поступак заваривања: 141/111
Ознака електрода: EVБ CrMo Ø 2,5 EVБ CrMo Ø 3,25 EVБ 2 CrMo Ø 2,5 EVБ 2 CrMo Ø 3,25	Број шарже:	Датум производње:

Ред. бр.	Име заваривача	Жиг	Положај заваривања	Позиција, број или ознака заваара према цртежу
1				
2				
3				
4				
5				

Термичка обрада:

Температура околине:

Падавине:

Ветар:

Примедбе	
потпис:	
Руководилац заваривачких радова:	Надзорни орган инвеститора:
Потпис:	Потпис: