

МАШИНСКИ МАТЕРИЈАЛИ 2

РАДНИ ЛИСТОВИ **Лаб. вежба – лаб.33**

- школска 2019/2020 година -

1. ОСНОВНИ ПОЈМОВИ У ЗАВАРИВАЊУ
2. МЕХАНИЧКА ИСПИТИВАЊА ЗАВАРЕНИХ СПОЈЕВА

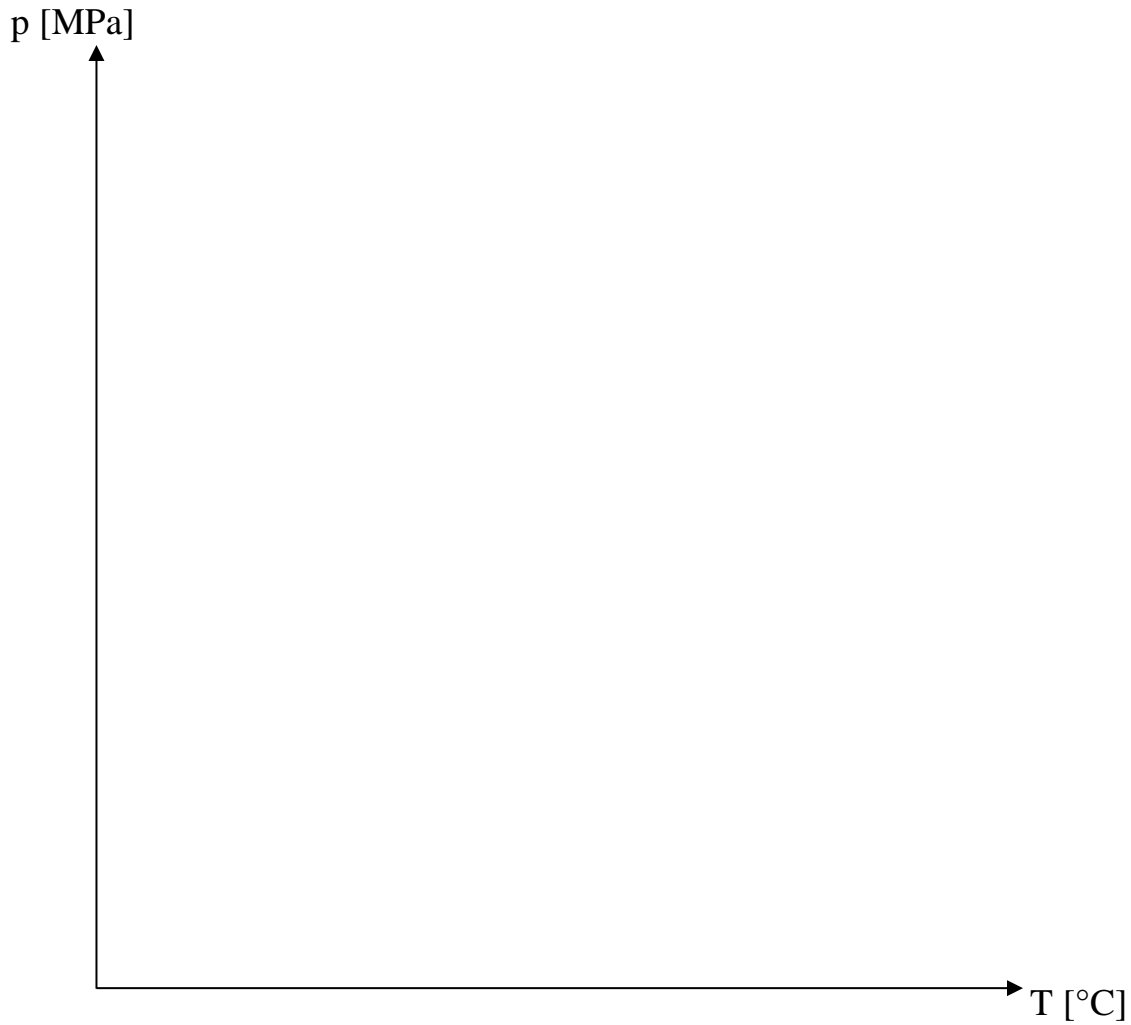
Студент:

(бр.индекса, име и презиме)

Потпис асистента:

1. Основни појмови у заваривању

- Заваривање је _____



Слика 1.1. Дијаграм поступака спајања легура железа у зависности од притиска и температуре

Табела 1.1 Класификација поступака спајања и начин означавања

| 1 | Електролучно заваривање | 4 | Заваривање у чврстом стању |
|----------|---|-----------|-----------------------------------|
| 111 | Обложеном електродом | 41 | Ултразвуком |
| 114 | Пуњеном жицом | 42 | Трењем |
| 12 | Под прашком | 43 | Ковачко |
| 13 | Топљивом електродном жицом у заштити гаса | 44 | Експлозијом |
| 131 | Заштита у инертном гасу | 45 | Дифузијом |
| 135 | Заштита у активном | 48 | На хладно |
| 14 | Нетопљивом електродом у заштити гаса | 7 | Други поступци заваривања |
| 141 | Инертни гас | 71 | Алуминотермитско |
| 15 | Плазмом | 72 | Електрично под троском |
| 185 | Магнетно - ротирајућим електричним луком | 74 | Индукционо |
| 2 | Електроотпорно заваривање | 751 | Ласером |
| 21 | Тачкасто | 76 | Електронским снопом |
| 22 | Шавно | 91 | Тврдо лемљење |
| 23 | Брадавичасто | 913 | У пећи |
| 24 | Сучеоно варничењем | 914 | Уроњавањем у соли |
| 25 | Сучеоно збијањем | 916 | Индукционо |
| 3 | Гасно заваривање | 94 | Меко лемљење |
| 311 | Окси-ацетиленским пламеном | 97 | Заваривачко лемљење |

Вежба: Написати пуне називе и скраћенице поступака заваривања чије су стандардне бројчане ознаке наведене у табели.

| Бр. ознака поступка | Пун назив поступка заваривања | Скраћенице |
|---------------------|-------------------------------|------------|
| 111 | | |
| 131 | | |
| 135 | | |
| 141 | | |
| 311 | | |

ПРИПРЕМА МАТЕРИЈАЛА ЗА ЗАВАРИВАЊЕ

• Основни елементи **ЖЛЕБА**:

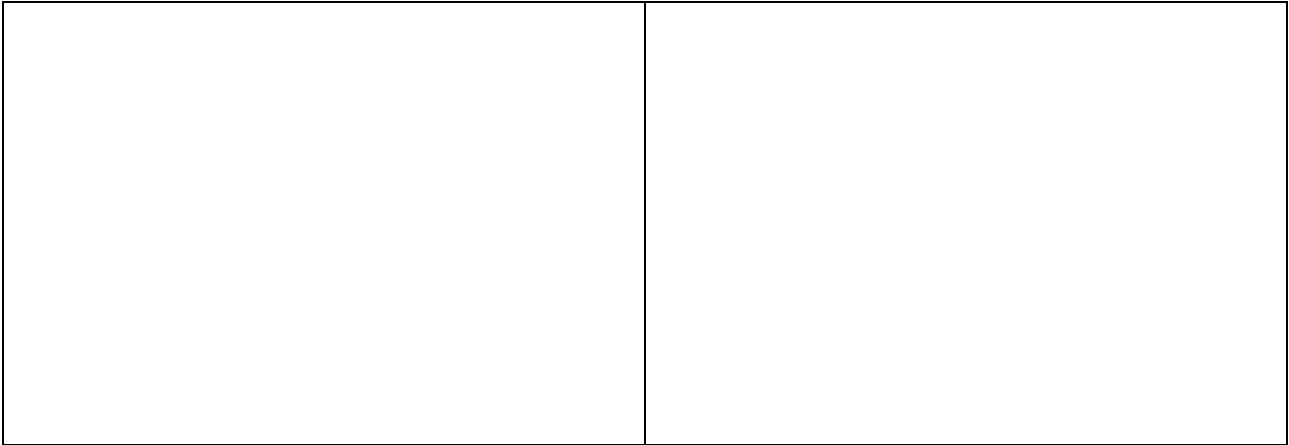
| Изглед жлеба | Основни елементи жлеба |
|--------------------------|------------------------|
| Једностранни жлеб | 1. _____ |
| | 2. _____ |
| | 3. _____ |
| | 4. _____ |
| | 5. _____ |
| Двострани жлеб | 6. _____ |
| | 7. _____ |
| | 8. _____ |
| | 9. _____ |
| | 10. _____ |

• Називи, ознаке и изглед најчешће коришћених **ЖЛЕБОВА** и шавова (ЗС):

| Назив жлеба | Ознака жлеба | Изглед жлеба | Изглед шавова (ЗС) | Назив шавова (ЗС) |
|-------------|--------------|--------------|--------------------|-------------------|
| рубни | | | | рубни |
| I | | | | I |
| V | | | | V |
| HV | | | | HV |
| Y | | | | Y |
| U | | | | U |
| J | | | | J |
| X | | | | X |
| K | | | | K |
| дупло U | | | | дупло U |
| угаони | | | | угаони |
| навар | | | | навар |

ОСНОВНИ ЕЛЕМЕНТИ ЗАВАРЕНОГ СПОЈА

- **Заварени спој (ЗС) је** _____



а) сучеони заварени спој

б) угаони заварени спој

Слика 1.2 Шематски приказ заварених спојева, са основним елементима ЗС

- **Метал шава (шав)** настаје очвршћавањем истопљеног основног и додатног метала, или само основног метала уколико се при заваривању не користи додатни метал.
- **Зона утицаја топлоте (ЗУТ)** је део основног метала који је претрпео структурне промене, што као последицу има промене механичких својстава, услед загревања током заваривања (испод солидус температуре).
- **Површина стапања (фузиона зона)** је гранична површина између шава и ЗУТ-а.
- **Увар** је део основног метала који се топи при заваривању и улази у састав шава.
- Површина завареног споја назива се **лице шава**, а супротна страна **наличје шава**.
- **Ивице шава** су границе између лица шава и основног метала.
- **Надвишење** је део шава који је изнад нивоа основног метала.

ВРСТЕ И ТИПОВИ ЗАВАРЕНИХ СПОЈЕВА

• Подела ЗС у зависности од међусобног положаја:

| Врста завареног споја | Тип завареног споја | Скица завареног споја |
|----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| Сучеони | Једнострани-V | |
| | Двострани-X | |
| Угаони | Т-спој | |
| | Преклопни | |
| | Рубни | |
| | Крстасти | |
| Належући | | |
| Прирубни | | |

- Завар је _____

• Подела ЗС према врсти шава:

| Врста шава | Скица шава |
|---------------|------------|
| Једнопролазни | |
| Вишепролазни | |
| Вишеслојни | |

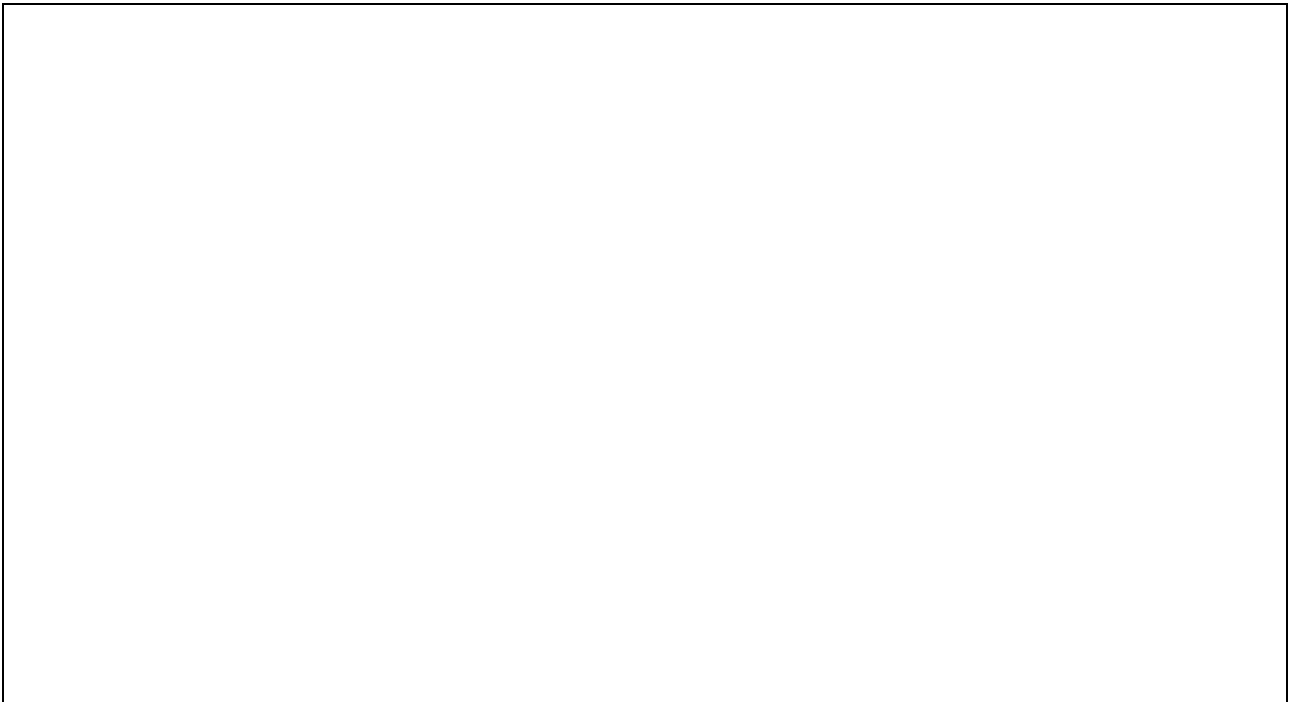
• Основни и принудни положаји заваривања:

| | Положај заваривања | Скица положаја заваривања |
|----------|-------------------------|---------------------------|
| Основни | Хоризонтални | |
| Принудни | Хоризонтално-вертикални | |
| | Вертикални | |
| | Надглавни | |

2. Механичка испитивања заварених спојева

- 2.1 Испитивање затезањем
- 2.2 Испитивање жилавости
- 2.3 Испитивање тврдоће
- 2.4 Испитивање савијањем
- 2.5 Испитивање динамичке тврдоће

Епрувете за испитивање се узоркују из плоче која је заварена под истим условима под којим треба да буде заварена и конструкција. Одбацује се 25mm метала са крајева плоче.



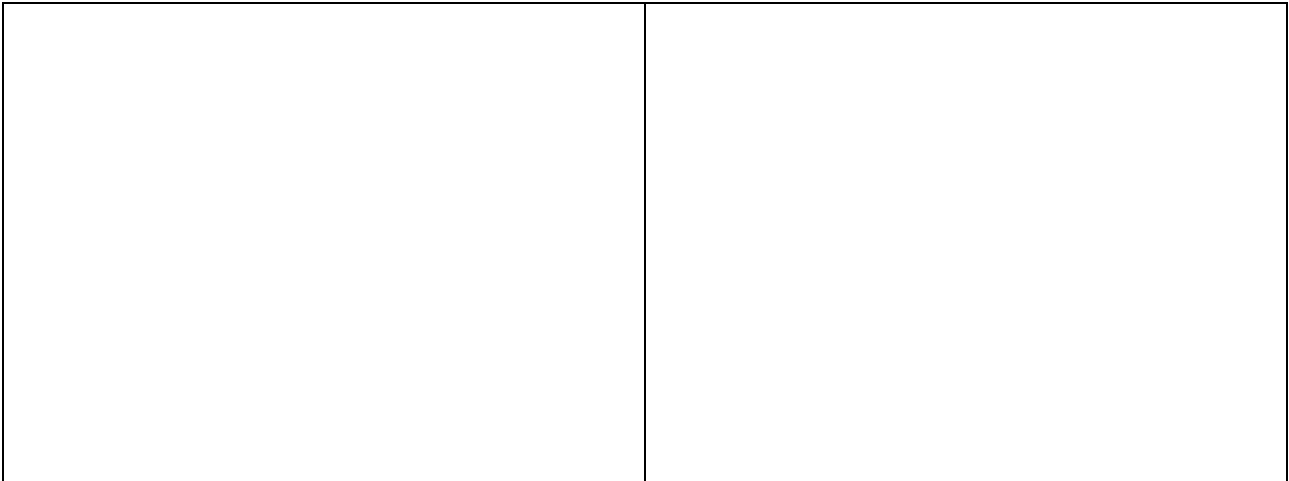
Слика 2. Узорковање епрувете за механичка испитивања ЗС

2.1 ИСПИТИВАЊЕ ЗАТЕЗАЊЕМ

- **Одређивање затезне чврстоће завареног споја у целини**

Написати чему је једнака затезна чврстоћа ЗС у целини?

$R_m =$



Слика 2.1.1 Епрувета за одређивање R_m завареног споја у целини

Слика 2.1.2 Епрувета за одређивање R_m на ЗС на цевима пречника $>50\text{mm}$

- **Одређивање затезне чврстоће метала шава ЗС**

Написати чему је једнака затезна чврстоћа ЗС метал шава?

$R_m =$

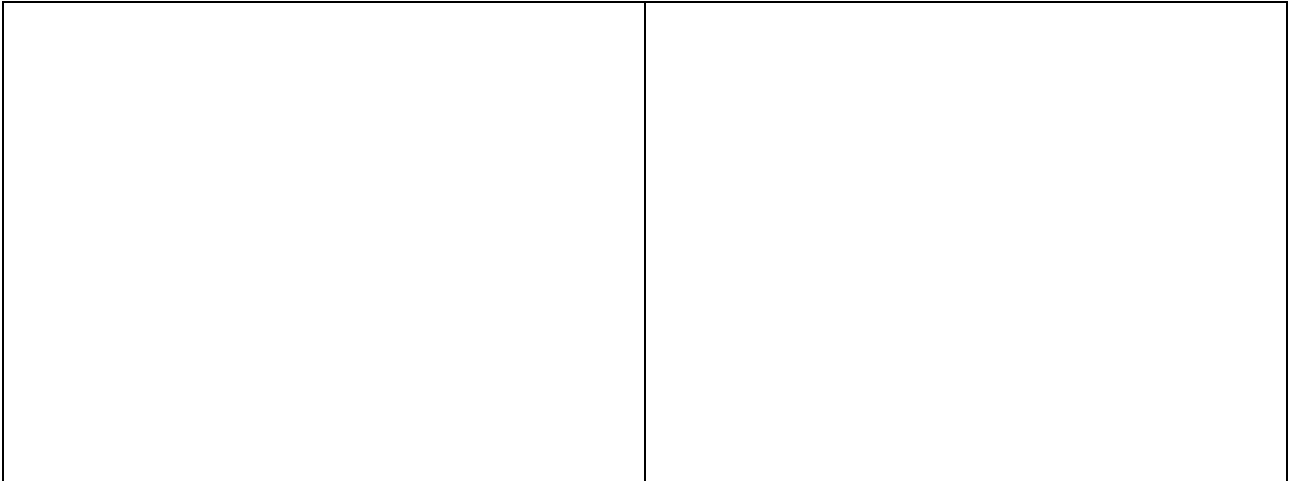


Слика 2.1.3 Епрувета за одређивање R_m метал шава (епрувета са удубљеним боковима)

- **Одређивање затезне чврстоће код угаоних ЗС**

Написати чему је једнака затезна чврстоћа угаоног завареног споја?

$R_m =$



Слика 2.1.4 Епрувета за одређивање R_m преклопних заварених спојева

Слика 2.1.5 Епрувета за одређивање R_m крстастих заварених спојева

2.2 ИСПИТИВАЊЕ ЖИЛАВОСТИ

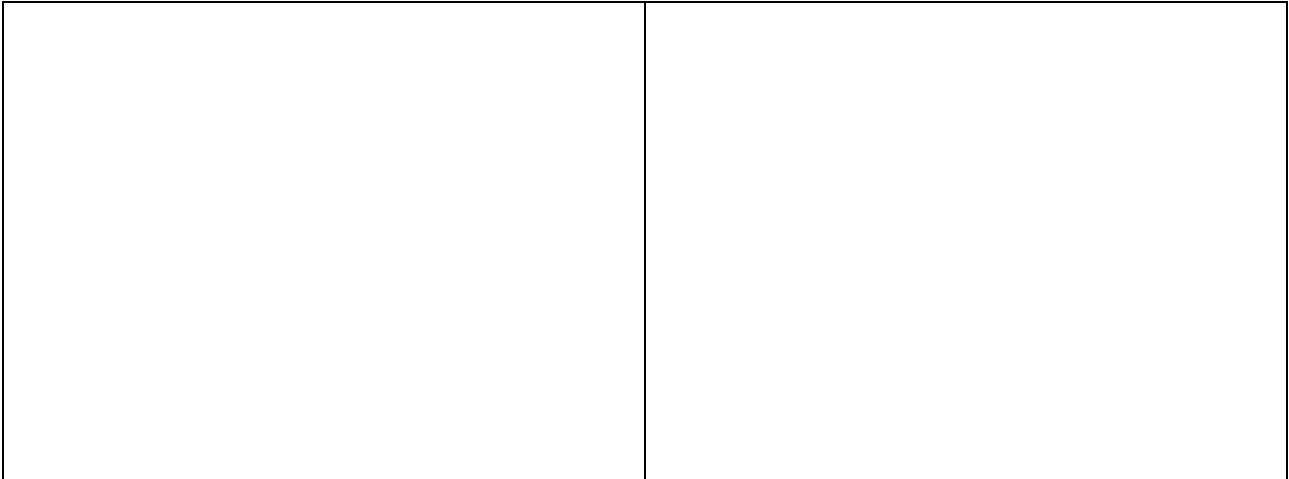
Испитивање жилавости се изводи помоћу Шарпијевог клатна, на епруветама стандардних димензија. Зарез на епрувети треба да буде постављен у оној зони завареног споја чија се жилавост испитује.



Слика 2.2.1 Изглед, димензије и начин исецања епрувета за испитивање жилавости

2.3 ИСПИТИВАЊЕ ТВРДОЋЕ

За испитивање тврдоће могу се користити методе НВ, НV и НR. Тврдоћа се мери у свим зонама завареног споја: у основном металу, зони утицаја топлоте и у метал шаву.

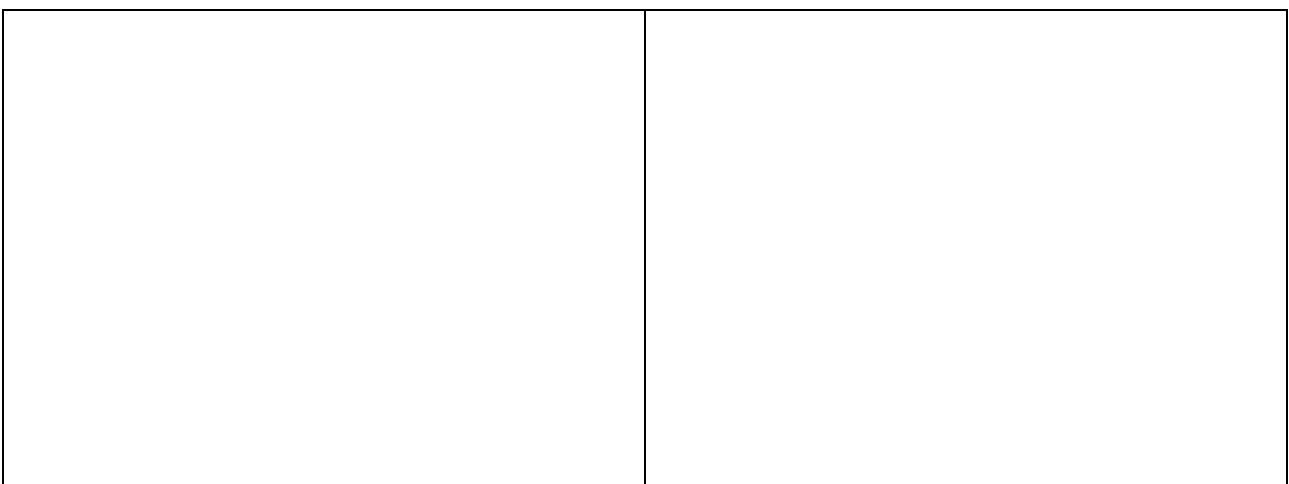


Слика 2.3.1 Шема распореда мерења НВ сучeonих спојева, у ф-ји од врсте ЗС

Слика 2.3.2 Шема распореда мерења НВ угаоних спојева: а) преклопни; б) крстасти

2.4 ИСПИТИВАЊЕ САВИЈАЊЕМ

Испитивање савијањем врши се до појаве прслине дужине 2 mm на површини материјала (у зони затезања), када се уједно и прекида даље испитивање, и при овом испитивању одређује се угао савијања (α). При овом испитивању користе се min 2 епрувете, и то 1. за испитивање преко лица а 2. за испитивање преко наличја шави.



Слика 2.4.1 Изглед и димензије епрувете за испитивање савијањем ЗС

Слика 2.4.2 Угао савијања

2.5 ИСПИТИВАЊЕ ДИНАМИЧКЕ ЧВРСТОЋЕ

Одређује се:

- Динамичка чврстоћа завареног споја у целини
- Динамичка чврстоћа метал шава

Дефинисати динамичку чврстоћу (R_d): _____

Дефинисати условну динамичку чврстоћу (R_{dN}): _____

МАШИНСКИ МАТЕРИЈАЛИ 2

РАДНИ ЛИСТОВИ **Лаб. вежба – лаб.148**

3. ЗАВАРЉИВОСТ

Студент:

(бр.индекса, име и презиме)

Потпис асистента:

3. ЗАВАРЉИВОСТ

Заварљивост металних материјала се процењује на основу квалитета завареног споја добијеног задатом технологијом заваривања.

Заварљивост зависи од 3 подједнако важна чиниоца:

- материјал који се заварује,
 - услова за заваривање, и
 - конструктивног решења,
- познавајући следеће чињенице:
- погодност материјала за заваривање,
 - могућност извођења заваривања и
 - поузданост заварене конструкције.



Слика 3.1. Шема заварљивости

Деф. ЗАВАРЉИВОСТИ:

“Метални материјал се сматра заварљивим, ако коришћењем одговарајуће технике заваривања настају јединствени спојеви, који испуњавају захтеве за локалним својствима шавова и њиховог утицаја на чврстоћу конструкције”.

Ова дефиниција не даје директно могућност оцене заварљивости, већ се за то користе:

- експерименталне методе (пробе заварљивости) и
- аналитичке методе (еквивалент угљеника-СЕ; искуствене формуле за оцену заварљивости полазе од чињенице да повећање садржаја С и лег.елемената неповољно утичу на заварљивост).

Грешке заварених спојева (ЗС)

У оквиру процене заварљивости металних материјала (посебно челика) најбитније је одредити склоност материјала ка појави:

- топлих прслина,
- хладних прслина,
- ламеларних прслина,
- прслина жарења,
- прслина кртог лома.

ТОПЛЕ ПРСЛИНЕ

- Топле прслине → основни узрок појаве високотемпер.интеркристалног лома у зони ЗС.
- Настају у МШ и у ЗУТ-у.
- Јављају се на високим Т и при неповољном деловању чинилаца који утичу на смањење деформационе способности материјала и пад кохезионе чврстоће материјала.
- Узрочници настанка топлих прслина су: лакотопљиве еутектичке фазе (FeS), грешке кристалне структуре и издвојене крте фазе.

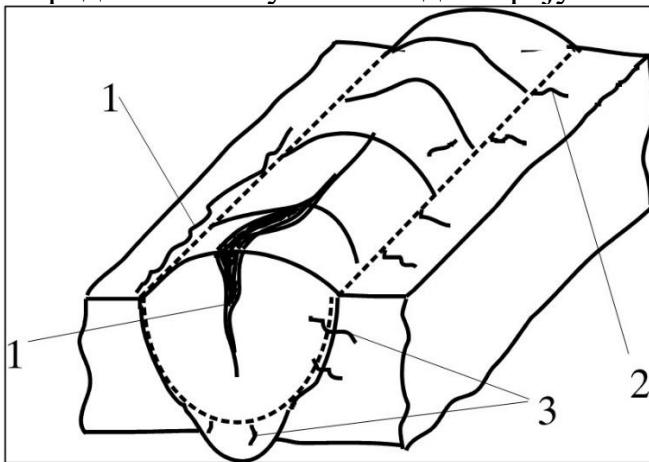
Коефицијент **HCS** (Hot Cracking Sensitivity) одређује склоност материјала ка образовању топлих прслина.

Написати чему је једнак HCS? **HCS** =

Уписати потребну вредност HCS-а да не би дошло до образовања топлих прслина у ЗС, ако је:

- челик са $R_m < 700 \text{ MPa}$ → HCS < ___;
- челик са $R_m > 700 \text{ MPa}$ → HCS < ___.

Поред слике 3.2 уписати одговарајуће положаје топлих прслина у ЗС.



- 1 - _____
- 2 - _____
- 3 - _____

Слика 3.2. Положај топлих прслина у ЗС

ХЛАДНЕ ПРСЛИНЕ

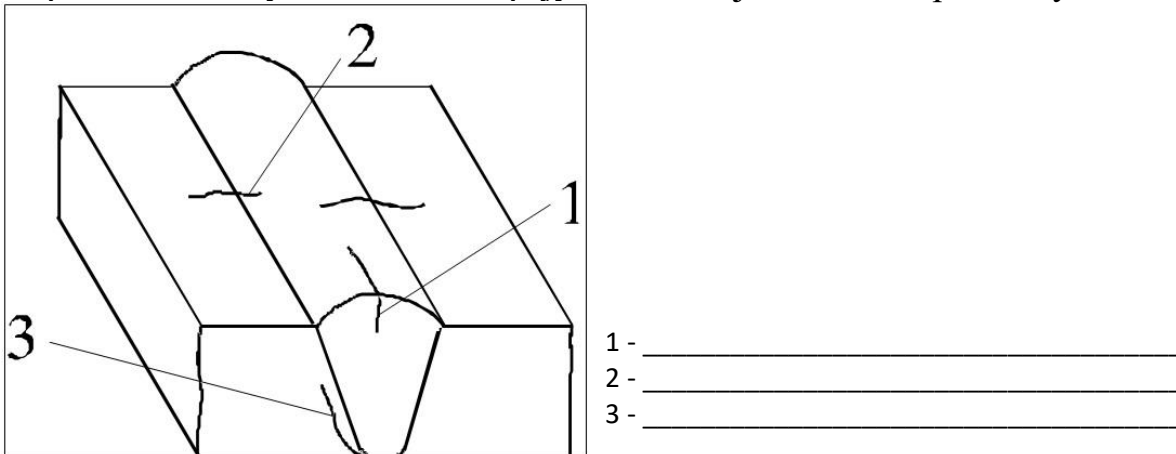
Хладне прслине могу да изазову транскристално, интеркристално или комбиновано разарање у ЗС. Хладне прслине настају:

- или при хлађењу у интервалу 250-200°C,
- или као тзв. закаснеле прслине, по завршетку процеса заваривања.

На појаву хладних прслина утичу:

- степен закаљивости челика (образовање мартензитне структуре),
- пораст тврдоће под дејством термичког циклуса заваривања,
- засићење МШ и ЗУТ-а водоником (H₂),
- деловањем затезних напона у зони ЗС.

Поред слике 3.3 уписати одговарајуће положаје хладних прслина у ЗС.



Слика 3.3. Положај хладних прслина у ЗС

1. Еквивалент угљеника C_{eq} (CE)

Написати чему је једнак C_{eq} ? $C_{eq} =$

Уписати потребну вредност C_{eq} у следећим случајевима:

- 1) добра заварљивост материјала → $C_{eq} < \underline{\quad}; \underline{\quad}$
- 2) условна заварљивост (уз предгревање) → $\underline{\quad} < C_{eq} < \underline{\quad}$;
- 3) лоша заварљивост → $C_{eq} > \underline{\quad}$;

2. Величина тврдоће у ЗУТ-у

$$\underline{HV=90+1050\cdot C+47\cdot Si+75\cdot Mn+30\cdot Ni+31\cdot Cr}$$

- За $HV(ЗУТ) \leq 350$ HV, челик није склон хладним прслинама.

3. Засићење МШ и ЗУТ-а водоником

- H₂ доспева у МШ из електрода или влажне средине.

4. Заостали затезни напони

Написати чему је једнак P_w ? $P_w =$

Где је:

- P_w , склоност челика ка образовању прслина у %;
- P_{CM} , коефицијент којим се изражава повећање кртости услед структурних трансформација;
- H - количина дифундованог водоника у металу шаву у ml/100 gr;
- K , коефицијент интензитета напона у N/mm².

Лоша заварљивост → Челик је осетљив на појаву хладних прслина ако је:

$P_w > \underline{\quad}$ (дописати).

ЛАМЕЛАРНЕ ПРСЛИНЕ

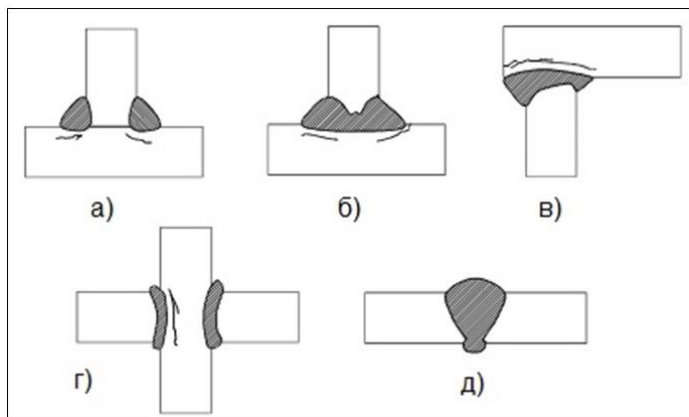
Ламеларне прслине у ЗС настају:

- најчешће при заваривању Т, угаоних, крстастих и сучеоних спојева (Сл. 3.4),
- јављају се у ОМ или ЗУТ-у, као последица деловања напона (услед термичког циклуса заваривања) у правцу дебљине материјала.

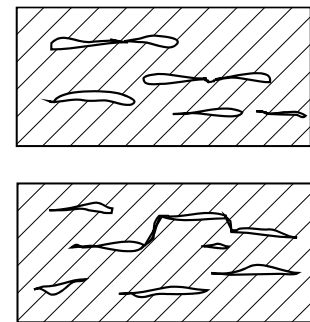
Ламеларне прслине се стварају при $T < 200^{\circ}\text{C}$ (условно између 400 и 550°C) и обично се пружају слојевито и то паралелно са површином елемента (одвајање суседних слојева материјала → ламеларно цепање).

Узрок појаве ламеларних прслина може да буде:

- металуршке природе,
- конструктивне природе и
- лоши услови заваривања.



Слика 3.4. Положај ламеларних прслина:
а, б) Т спојеви; в) угаони спој,
г) крстasti спој; д) сучеони спој



Слика 3.5. Изглед
ламеларних прслина

ПРСЛИНЕ ЖАРЕЊА

Појава прслина жарења је последица извођења ТО (термичке обраде) завареног споја након заваривања. Накнадно загревање ЗС подразумева извођење ТО, обично ради смањења унутрашњих напона, на температурама испод А1 линије. Са порастом степена легираности челика, значајно расте вероватноћа појаве прслине жарења при накнадном загревању ЗС.

ПРСЛИНЕ КРТОГ РАЗАРАЊА

Са порастом дебљине дела који се заварује, расте и структурно-механичка нехомогеност материјала (више грешака и укључака → потенцијални концентратори напона) → већа вероватноћа појаве прслина, тј. дисконтинуитета било које врсте.

Такође, повећавају се напони по дебљини метала што као последицу има локалну појаву и акумулацију деформације. У зависности од величине деформације која претходи разарању, разликује се:

- крто (транскристално и интеркристално),
- квазикрто и
- жилаво разарање метала.

Понашање материјала, које може да буде дуктилно (жилаво) или крто, зависи од Токолине, механичких услова и дејства резултујућих напона.

Крто разарање се одликује:

- за транскристални крти лом: глатке и равне микроповршине на површинама разарања,
- за интеркристално крти лом: разарања настаје услед обogaћења граница зрна штетним примесима што доводи до значајног смањења кохезионе чврстоће између зрна и лома цепањем.

Степен пластичне деформације метала и енергија, која се утроши за лом материјала који се одликује кртим разарањем, су минимални.

Жилаво разарање се карактерише вишестепеношћу процеса:

- појава пора у честицама секундарне фазе,
- образовање јамица услед сливања микропразнина око пора,
- пластична деформација материјала око микропразнина и
- на крају разарање.

Узроке кртог разарања заварених конструкција, по правилу, треба тражити у присуству различитих концентратора напона, најчешће прслина.

Врста разарања се са успехом открива и посматра користећи Скенирајући Електронски Микроскоп (СЕМ).

ИСПИТИВАЊЕ ЗАВАРЉИВОСТИ – ПРОБЕ ЗАВАРЉИВОСТИ.

Заварљивост, осим у крајње једноставним случајевима, није могуће једнозначно одредити, а посебно не на основу само једне врсте узорака за испитивање.

- Узорци за испитивање заварљивости, у већини случајева, нису масивни и помоћу њих се испитују одређена својства материјала чији је утицај на заварљивост познат. На основу тако добијених података изводи се закључак о поузданости елемента или конструкције који ће се заваривати.

- Друга група испитивања подразумева испитивања већ завареног материјала - узорка, код кога су већ самим чином заваривања унесени напони.

- Код материјала високе чврстоће применом механике лома могуће је добити сазнања о склоности, односно отпорности материјала ка лому, што представља посебну групу метода испитивања.

Пробе заварљивости су многобројне и различите, некада су специфичне баш за одређену врсту материјала, а некада за технолошки поступак заваривања. Из тог разлога у оквиру сваке врсте грешака постоје одређене експерименталне методе одређивања заварљивости, тј. пробе заварљивости.

Пример за вежбу:

Потребно је заварити челик чија је $R_m=490$ МПа и чији је хемијски састав дат у табели. Одредити његову склоност ка:

а) појави топлих прелина;

б) појави хладних прелина,

при заваривању.

| C | Mn | Mo | Cr | V | Ni | Si | S | P |
|-----|------|------|------|------|-----|-----|------|------|
| 0,2 | 0,83 | 0,51 | 0,56 | 0,27 | 0,7 | 0,4 | 0,07 | 0,03 |

ЛИТЕРАТУРА:

1. А. Седмак, В. Шијачки-Жеравчић, А. Милосављевић, В. Ђорђевић, М. Вукићевић, *Машински материјали – други део*, Машински факултет, Београд 2000
2. А. Мајсторовић, В. Ђукић, *Испитивање машинских материјала – упутства*, Научна књига, Београд 1990
3. О. Поповић, Р. Прокић Цветковић, *Поступци заваривања*, Машински факултет, Београд 2016
4. Р. Прокић-Цветковић, О. Поповић, *Заваривање и сродни поступци, за трећи разред машинске школе*, Завод за уџбенике, Београд 2011.
5. <http://afrodita.rcub.bg.ac.rs/~rzoran/Masinski%20materijali%20II.htm>