



Универзитет “Св. Кирил и Методиј” во Скопје
Машински факултет - Скопје



“FSW ЗАВАРУВАЊЕ НА АЛУМИНИУМСКИ МАТЕРИЈАЛИ”
ДИПЛОМСКА РАБОТА

Ментор: Проф. д-р Добре Рунчев
Машински факултет- Скопје

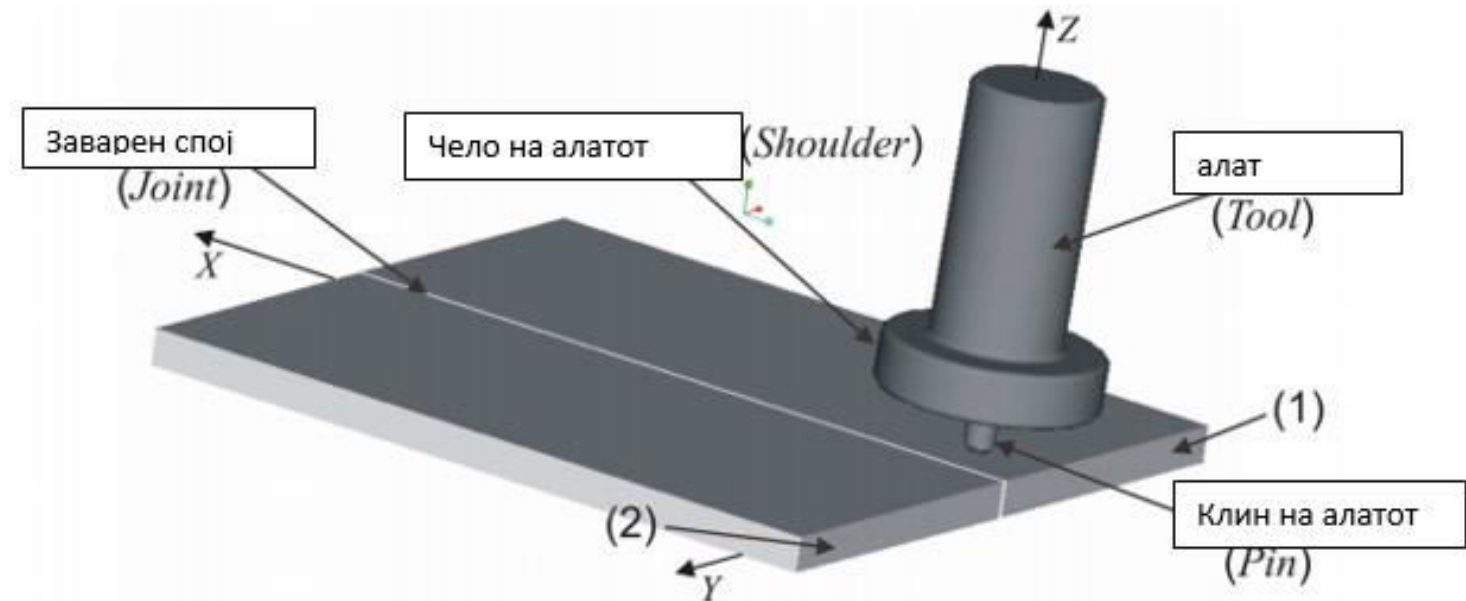
Кандидат: Беди Ахмети/ 1271/ МСКИ

1. Вовед

- Класичното заварување со триење познат е уште од 1956 година. Тоа е техника со која се заваруваат претежно ротационо симетрични тела. Додека плоснатите и габаритните тела со ова техника многу потешко се заваруваат.
- Кон крајот на 1991 година Вејс Томас со соработниците од TWI (The Welding Institut of Cambrige UK) за прв пат практично јавно го прикажале резултатот од своето долгогодишно истражување во областа на заварување со триење на алуминиумот и неговите легури. Тоа е новата техника на заварување со триење познат како Friction Stir Welding (FSW).
- Оваа техника денес е најприменувана во скандинавските земји: Норвешка и Шведкса, во Велика Британија, во САД, Јапонија и Австралија.

- Постапката на FSW се врши така да на работната маса на машината се наоѓаат лимовите кои треба да се спојуваат. Лимовите треба да бидат цврсто стегнати за работната маса на машината кои може хоризонтално и транслаторно да се движи.

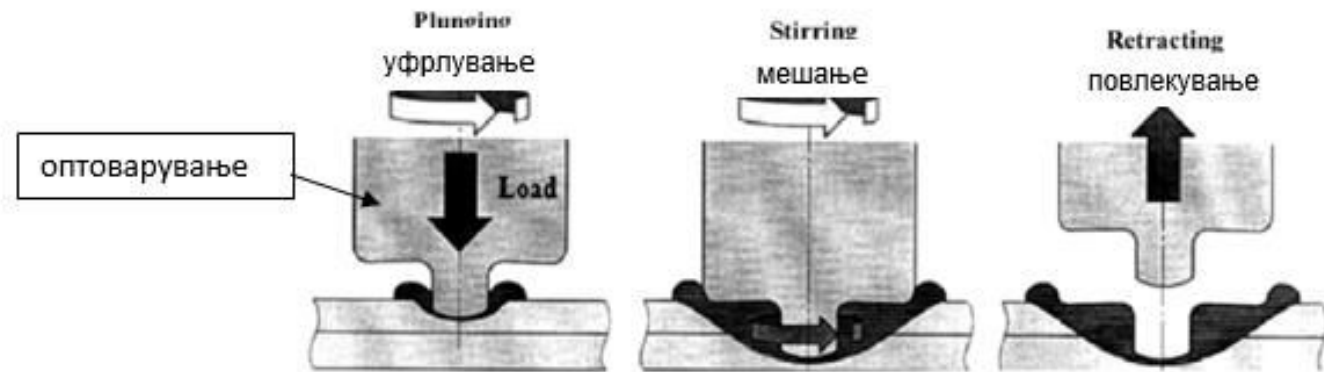
- Специјалниот алат кои се користи во процесот на заварување е од цилиндричен облик и се состои од телото на алатот и два концентрични дела кои ротираат со голема брзина.



2. Видови на FSW техники

2.1 Friction Stir Spot Welding (FSSW)

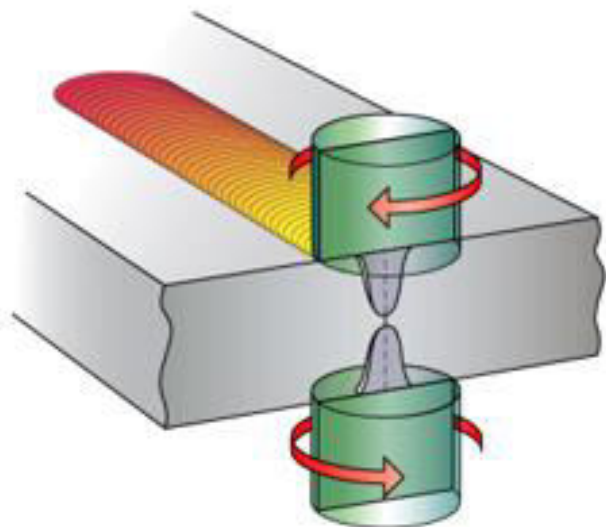
- FSSW е заварување во “цврста состојба”. За време на FSSW, фрикционата топлина генерирана на интерфејсот помеѓу алатот и работното парче го омекнува околниот материјал, а ротирачкиот и поместувачкиот клин предизвикува материјален проток. Притисокот на ковање и мешање на пластифицираниот материјал резултира во формирање на цврста врска.



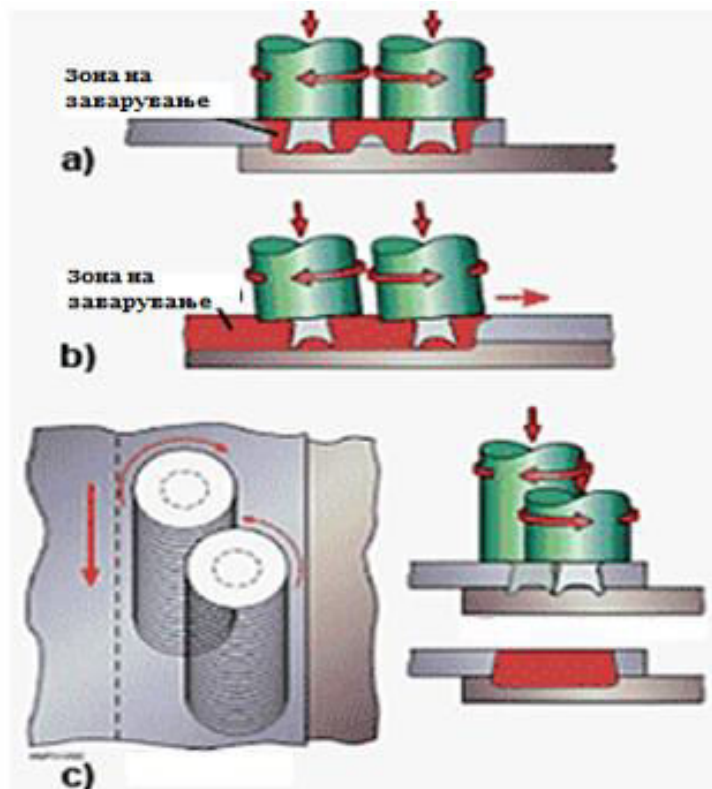
2.2 Техника на Twin-stir

- Истовремена употреба на два или повеќе алати за заварување со триење и мешање првпат била опишана во 1991 година. Концептот вклучувал пар на алати кои би се применувале на спротивните страни од работното парче, малку поместени во насока на заварувањето.
- Оваа техника на заварување со комбинирани алати има одредени предности како што се: намалување на реактивниот вртежен момент и повеќе симетрично заварување и внесување низ дебелината на работното парче. Покрај тоа, употребата на комбинираните алати би ја зголемила и продуктивноста на процесот и би довело до намалување на асиметријата на силата.

Првата варијанта на Twin-stir



Варијанти на Twin-stir



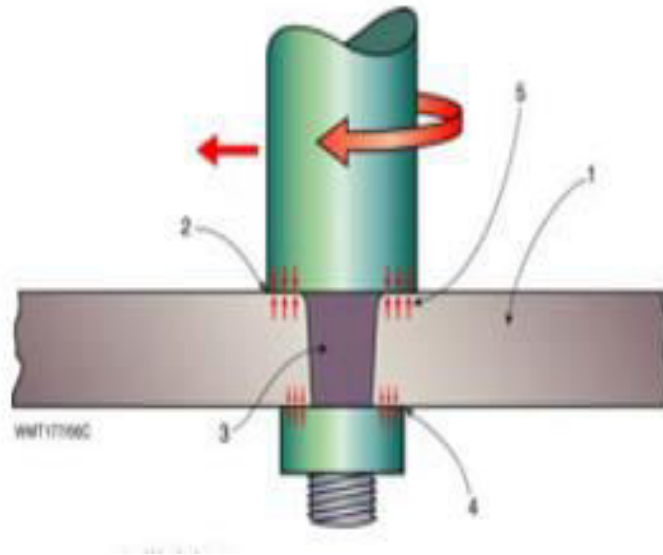
а) Парелелно (рамо до рамо) -попречно во правец на заварувањето

б) Тандем - во линија на правецот на заварување

в) Прилепено (staggered) – за осигурување дека заварувачките региони делумно се преклопуваат.

2.3 Bobbin stir заварување

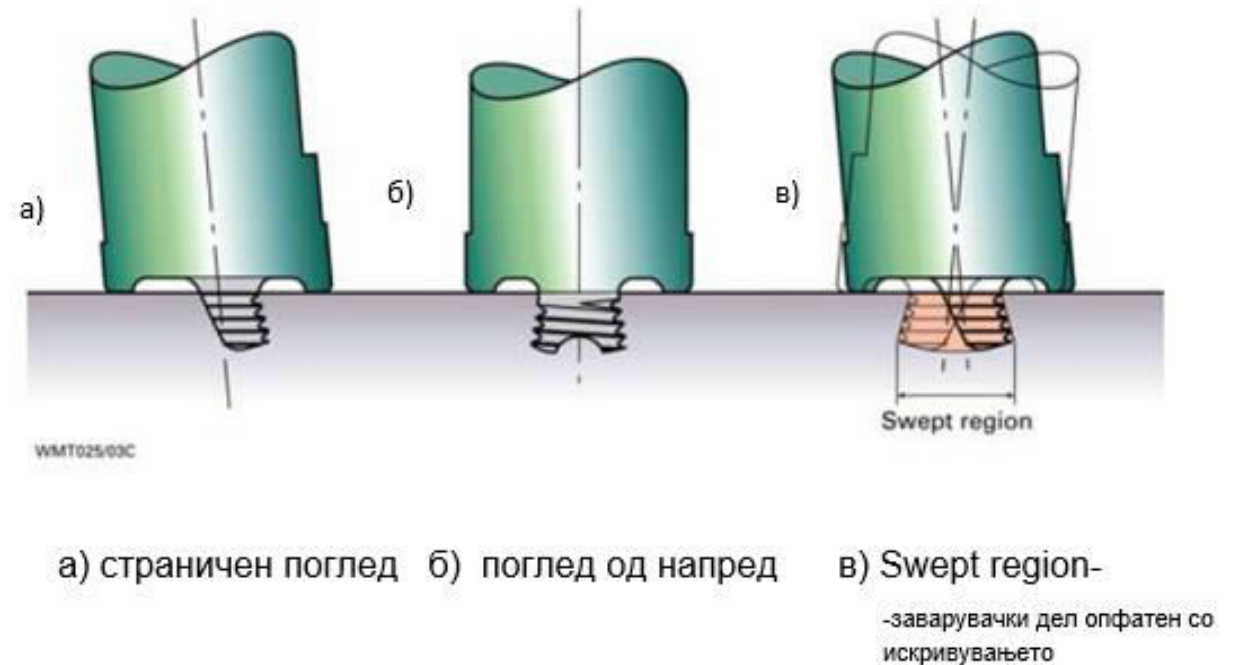
- Ова заварување се разликува во однос на конвенционалното FSW заварување по тоа што нема потреба од прицврстување (anvil support). Ограничувањето и поддршката што е неопходна при ова заварување е постигнато со горен и долен дел од телото на алатот. Ова заварување се користи за преклопни спојување и добивање шупливи екструзии.



- 1-Работно парче
- 2-Горен дел на телото
- 3-Трн
- 4-Долен дел на телото
- 5-Реактивни сили

2.4 Skew stir заварување

- Ова варијанта се разликува од обичната “FSW” во тоа што оската на алатката има благ наклон во однос на вретеното на машината. Ротирањето ќе биде ексцентрично, динамичниот дел од загреаниот волумен ќе се зголемува за сметка на статичкиот. Со ова се добива завар со поголема ширина и повисоки механички карактеристики, бидејќи зоните кои се мешаат се поголеми



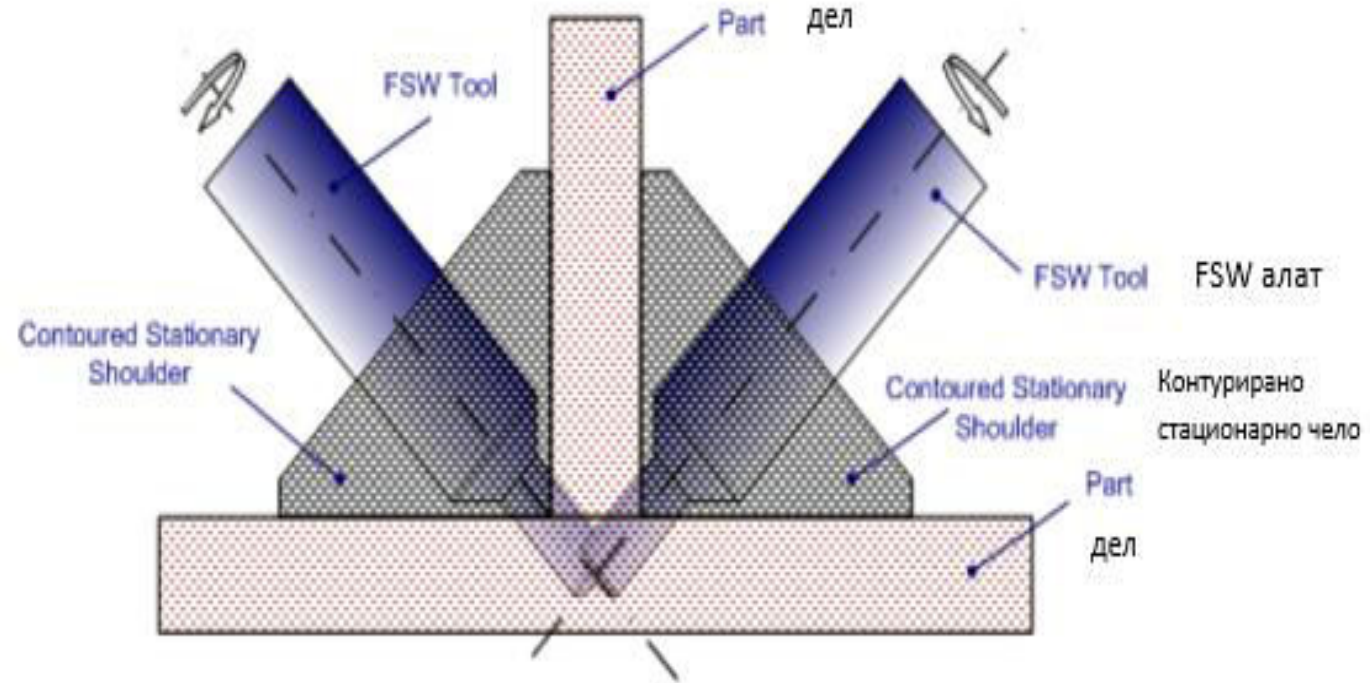
3. Stationary Shoulder Friction Stir Welding (SSFSW)

- Stationary Shoulder Friction Stir Welding е нова варианта на конвенционалното FSW која за прв пат беше пријавена во 2006 година за да го подобри заварувањето на титаниумските легури кои имаат ниска топлинска спроводливост.
- Само клинот ротира, доколку главата (челото на алатот) лизга во површината во текот на заварувањето. SSFSW создава локална внесена топлина околу клинот и елиминира топенње на материјал во челото на алатот, што доведува до посиметричен спој со потесна ЗВТ и зона на термомеханичко влијаније.
- Внесувањето на топлина сега е локализирано близу до клинот и рамномерно се распределува по дебелината со што се подобрува стабилитетот на процесот и ја намалува можноста за прегревање на површината.



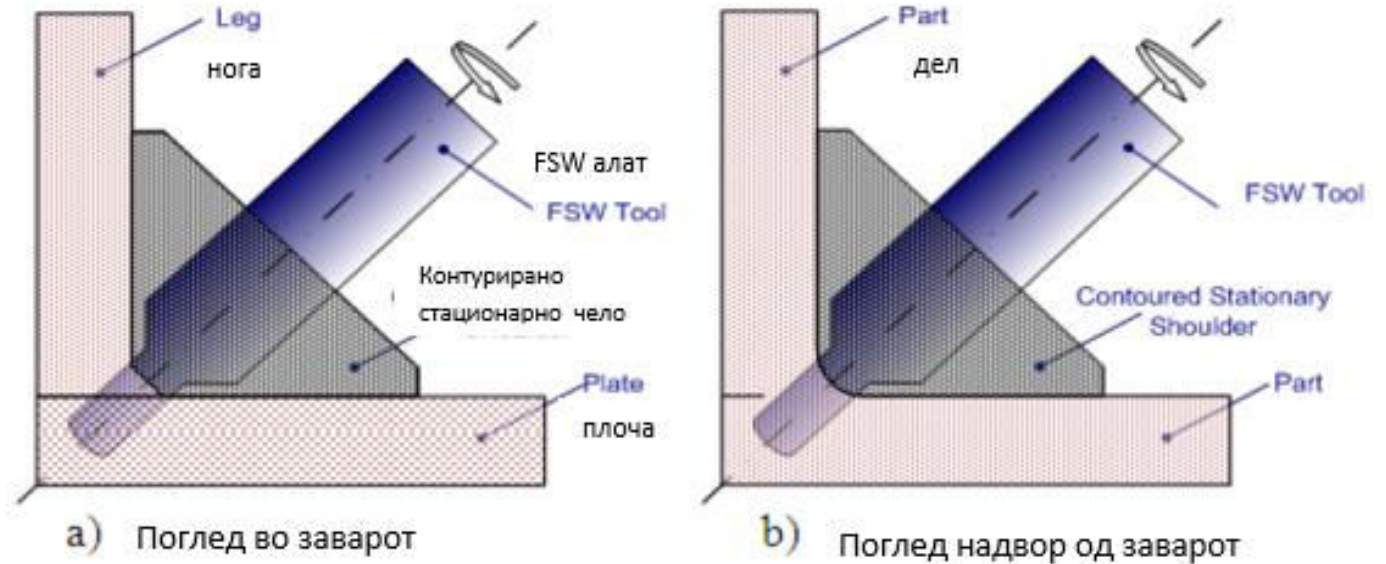
3.2 Аголно SSFSW заварување

- Развиениот механизам за заварување е составен од неротирачко чело обликуван во внатрешниот агол на парчињата кои треба да се заварат.
- Примероците ги покажаа сите бенефити на SSFSW техниката, но има остар внатрешен агол кои се смета за штетен за заедничките својства особено во однос на чувствителноста на замор.



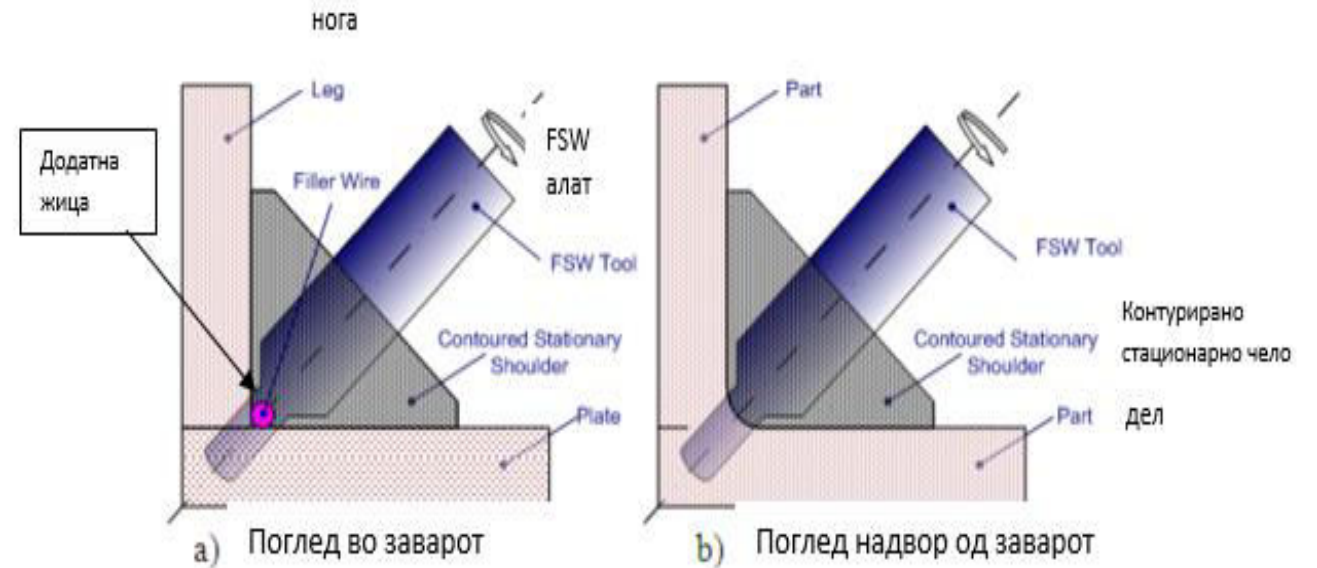
3.3 SSFSW со заоблени аголни завари

- Првата техника развиена за добивање на заоблен радиус беше користењето на задниот раб на стационарното чело за обликување на материјалот на заварот. Овој дополнителен материјал е измешан за време на процесот на заварување а потоа истиот е екструдирани или кован во заоблен облик во излезот од челото.
- Оваа техника е позната како Corner Fillet SSFSW.



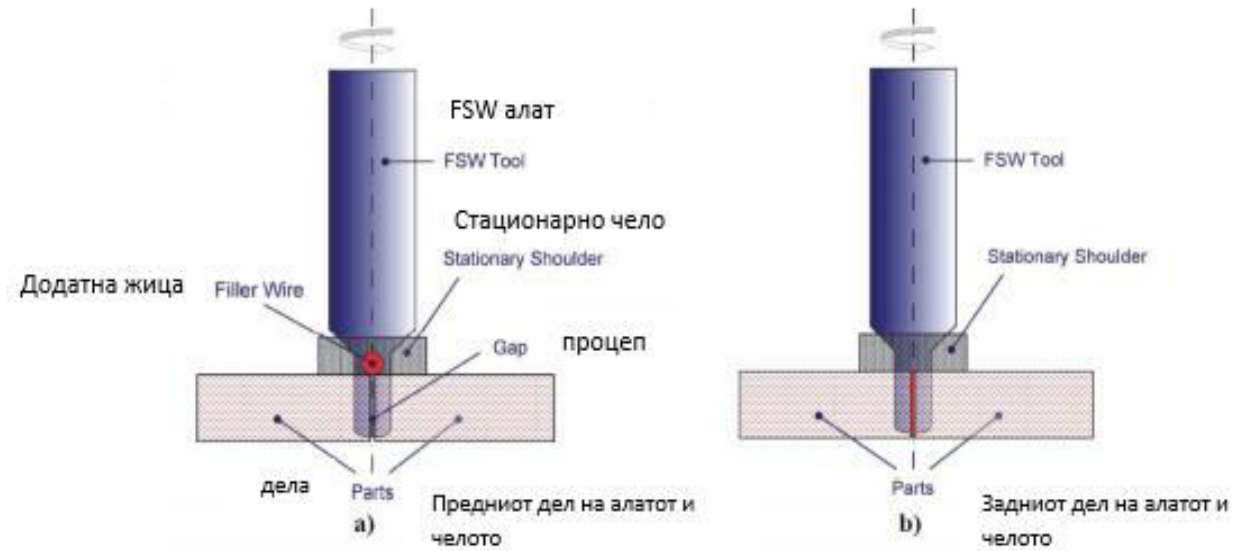
3.4 Corner AdStir Fillet SSFSW завари

- Во втората техника е показано дека може да се внесе жица во аголниот завар за време на заварувањето. Ова техника наречена Corner AdStir Fillet SSFSW нуди можност за производство заоблени аголни завари од рамни необработени парчиња, заобленоста добиена од жица личи на процесот на заварување со фузија, сепак не е потребна припрема на рабовите.



3.5 AdStir сочелно заварување со процеп

- Решението за надминување на проблемите со замор со додавање на жица е исто така применувана за сочелни споеви. Ваквата конфигурација е многу слична со добро познатата сочелна положба, но во овој случај беше наведено дека AdStir техниката може да завари заедно парчиња кои меѓусебе имаат процеп и до 16% од дебелината на парчето.



4. Споредба на SSFSW со конвенционалното FSW

- Предности :
- Неротирачкото чело значително ја намали моќта потрошена од алатката.
- Стационарното заварување бара 30% помало внесување на топлина од конвенционалното FSW.
- Заварувањето со стационарно чело произведе завари со потесен, по паралелена ЗВТ.
- Стационарните заварени споеви се изведуваат подобро од FSW во вкрстените заварувачки тестови.
- Ефектот на пеглање создаден со челото длабоко ја намалува губоста на површината на заварот.

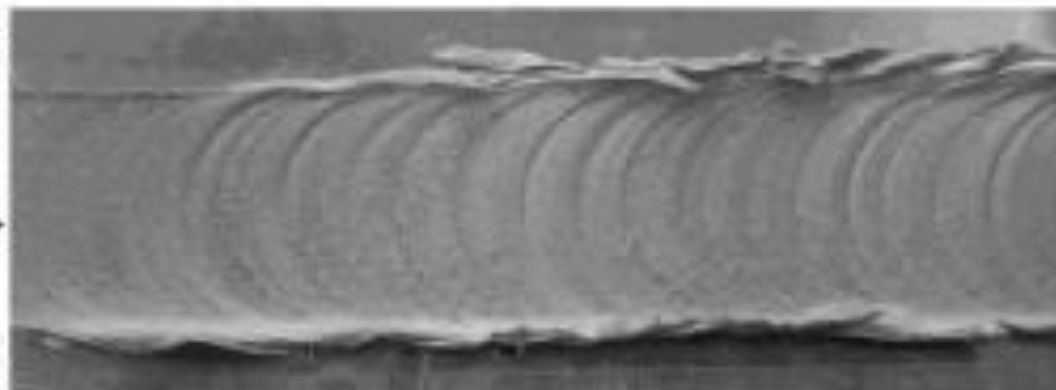
Насока на заварување



RS



AS



FSW

RS

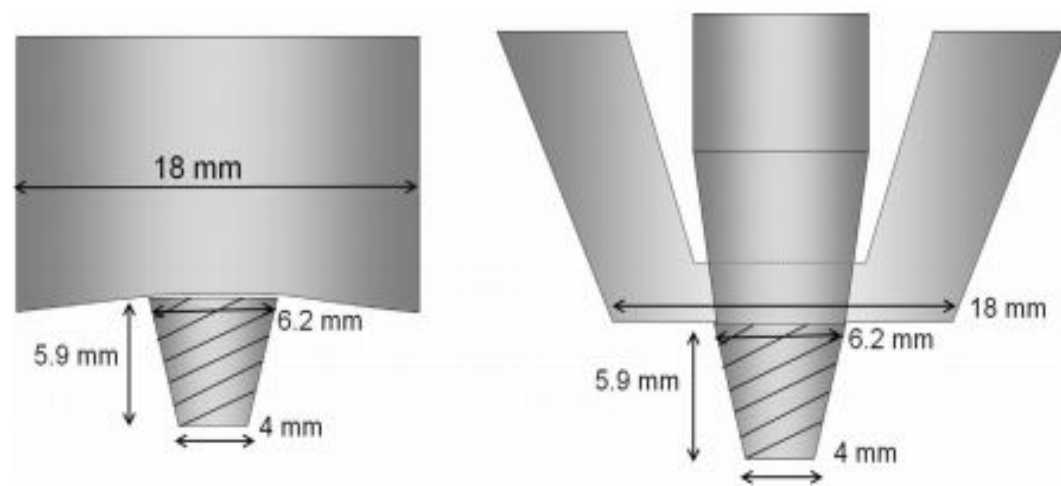


AS

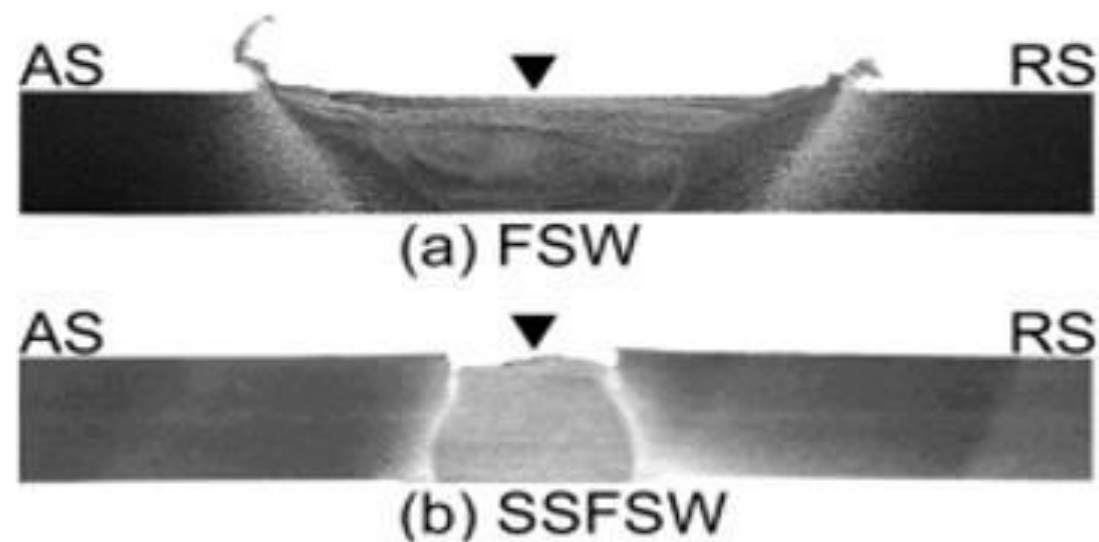


SSFSW

10mm



Алат за FSW односно, алат за SSFSW



Макроструктура на завар изведен со ковенционално FSW и SSFSW

- И покрај сегашните заклучоци кои се добри беше откриен и негативен ефект. Заварување со неротирачко чело може да доведе до пукнатини од брзина, како тие што беа најдени во испитување под топли услови на заварување што е надолжна пукнатина на површината формирана од многу висока ротација или брзина на заварување.

5. Заварливост на Алуминиумот

- Заварливоста на алуминиумот и неговите легури е поврзана со потешкотии како што се раслојувањето на алуминиумскиот оксид и склоност на настанување на топли пукнатини.
- Алуминиумскиот оксид го покрива металот во облик на тенок цврст слој. Неговото топење е при (2060°C) што е многу повеќе од топењето на алуминиум (660°C) затоа при заварување треба да се отклони.

Оксидниот слој може да се отстрани на два начина:

1. Со топител кои го топи оксидниот слој и го пренесува во полеса троска што плива на површината на растопениот материјал, а точката на топење на троската е испод точката на топење на алуминиумот.
2. При заварување под заштитен гас (МИГ или ТИГ во заштита на аргон и хелиум), оксидниот слој се отстранува во текот на процесот кои се основа на топлинската дисоцијација. Тој процес познат како “чистење” се изведува со спојување на електродна жица на позитивен пол (или со употреба на наизменична струја), а производот на негативен пол.

- Заварливоста на алуминиумот и алуминиумските легури помеѓу другото зависи и од хемискиот состав на основниот материјал, додатниот материјал и при тоа настанатата растопина.
- Заварливоста на типичните гмечени легури Al-Mg ослабува брзо со порастот на уделот на магнезиум затоа што се зголемува количината на кртиот интерметален спој Al_3Mg_3 .
- Кај двете најважни легури AlMg3 и AlMg5 заварливоста битно зависи од количината на пратечките елементи силициум и железо. Врз основа на ова развиена е легура AlMg3Si со среден удел од 0,6% Si практички нема склоност кон појава на топли пукнатини.

6. Класификација на алуминиумските легури

- Група 1xxx: означува чист алуминиум (99% или почисто). Не легурираниот алуминиум се разликува по чистота т.е по учество на поедини “нечистотини” (Fe,Si) во алуминиумот. Поседува извонредна отпорност према атмосферската околина, одлична топлинска и електрична спроводност и извонредна пластичност (способност на обликување). Целосната примена е многу раширена (електроиндустрија, хемиска индустрија, петрохемија, декоративна примена, градежништво). Добро е заварлив.
- Група 2xxx: легури на база на бакар (Cu). Оваа група дава најголеми вредности на јакост по исправно спроведената топлинска обработка. Легурите на оваа група се познати по името “дурали”. Се употребуваа за работни, носечки делови. Имаат лоши антикорозивни својства и заварливост. Оваа легура често се обложува со чист алуминиум поради антикорозивна заштита. Најчесто се употребува во авиоиндустријата, наоружување и механички делови (заковки и навртки).

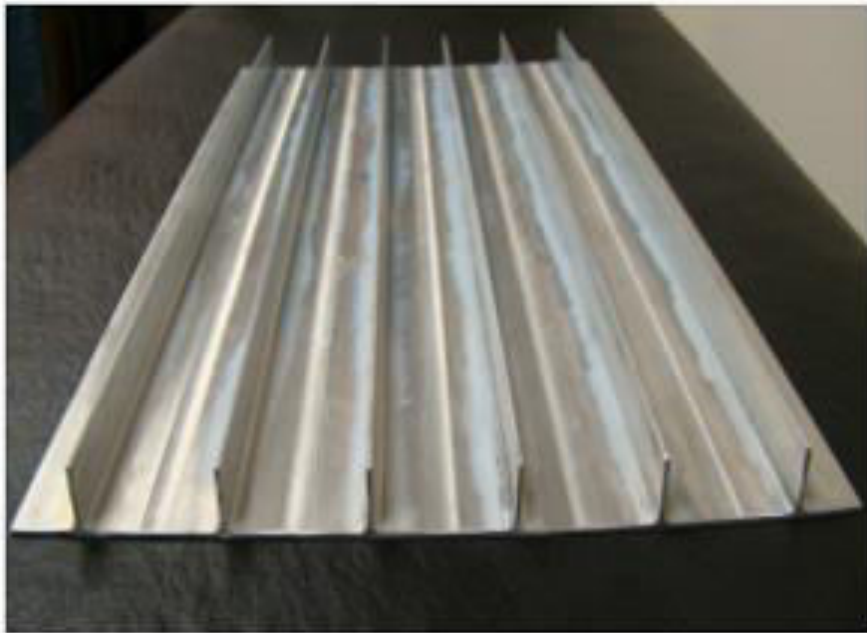
- Група 3xxx: главен легирачки елемент е манган (Mn). Легурите од овој тип не можат топлински да се обработат. Додатокот на манган е ограничен на 1,5%, а легурите имаат умерена јакост и се погодни за обработка. Легура AlMn (3003) е најчест представник на оваа група. Ова легура има извонредна пластичност, отпорна е на атмосферската околина и добро е заварлива. Се употребува за длабоки влечења, изменувачи на топлина, домашинството и сл. Најчесто употребувана легура од оваа група е и AlMgMn (3004) од која се произведуваат сите пакувања за напитоци (тип “canstock”) како и за цевки произведени од трака со електроотпорно заварување.
- Група 4xxx: главен легирачки елемент е силициум (Si) кои може да се додава во количини кои се доволни да значјно ја намалуваат температурата на топење ако легурата се користи како додатен материјал за заварување и лемење. Повеќето легури од оваа група не се топлински обработливи.

- Група 5xxx: главен легирачки елемент е магнезиум (Mg), но понекогаш се додаваат манган и хром. Легурите се добро заварливи и отпорноста на корозија им е добра но можноста за ладна обработка им е ограничена. Легурите со поголема содржина на Mg одлично се однесуваат во морската атмосфера. Обликувањето им опаѓа со порастот на содржина на магнезиум. Примената им е многу разноврстна: градежништво, бродоградба, уреди за десоленизација, садови, различни цистерни и резервоари.
- Група 6xxx: легурите од оваа група содржат силициум (Si) и магнезиум (Mg) што овозможува топлинска обработка. Имаат добра корозиска отпорност и добро се обликуваат. Групата може да се подели на две подгрупи:
 1. Поголема содржина на силициум и магнезиум со додаток на манган, хром и циркониум. Имаат подобри механички својства.
 2. Помала содржина на силициум и магнезиум што овозможува поголема брзина на притискање и одлична обликовливост со нешто полоши механички својства.

- Група 7xxx: легура со цинк (Zn) и магнезиум (Mg). Кога ќе се додаде уште и бакар, легурата поседува најголеми механички вредности од сите Al легури. Овие легури се познати и под името “ конструктали”. Ова група на Al легури се дели на две групи во зависност од тоа дали содржаат или не содржат бакар:

1. Легури со бакар. Имаат најголеми механички вредности. Можат да се заварат само под специални услови. Антикорозивните својства им се лоши.
2. Легури кои не содржат бакар. Имаат нешто полоши механички својства од предходната подгрупа но се поотпорни на корозија.

7. Примери на заварени елементи од алуминиум со FSW



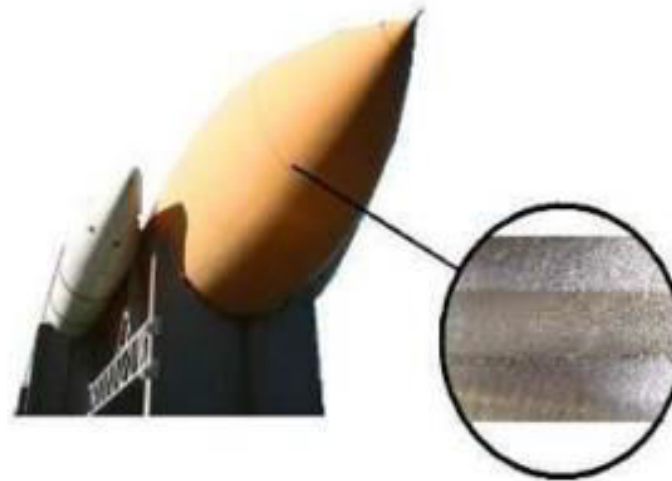
Заварување на бродски палуби



Производство на железнички подови



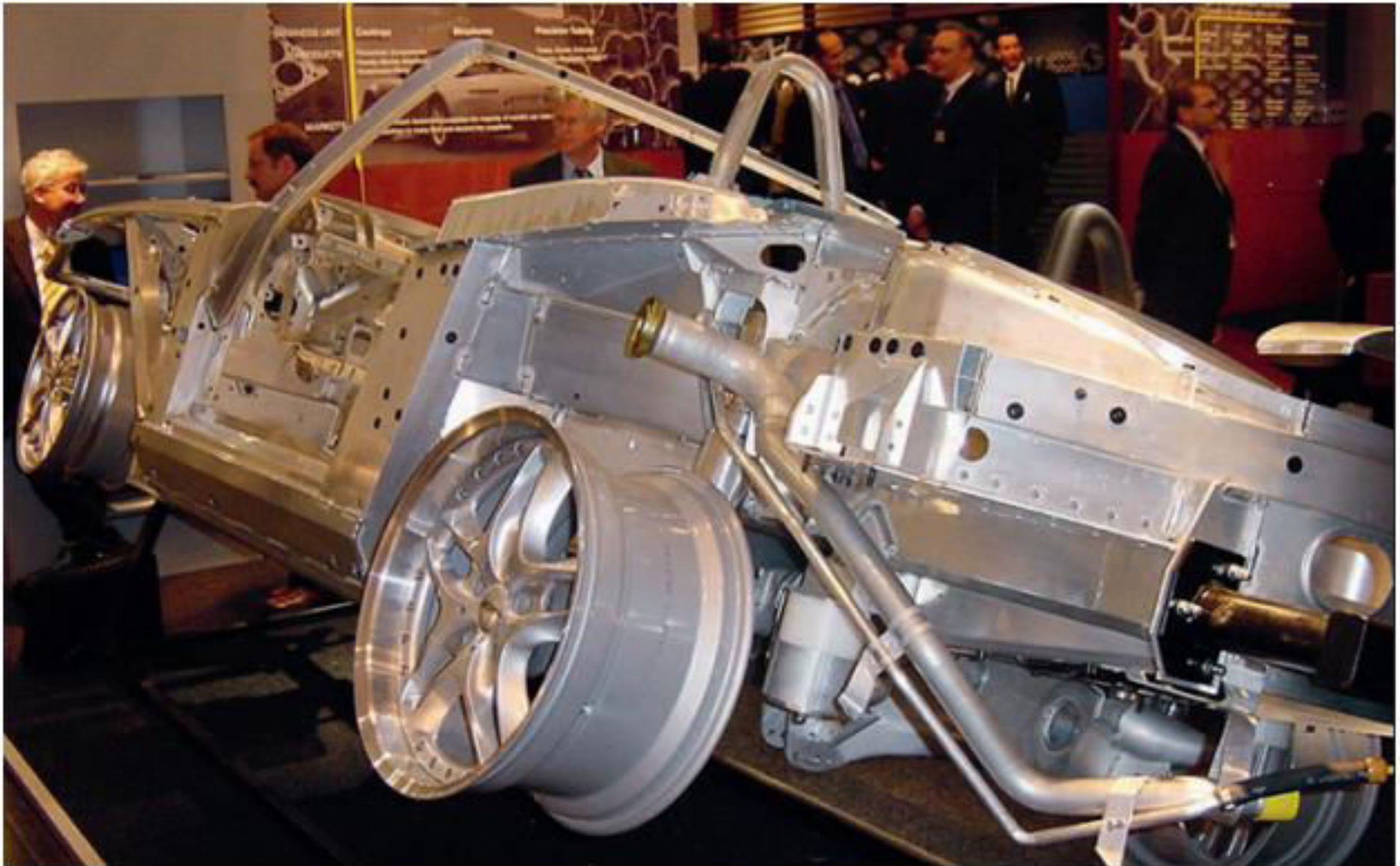
FSW во трупот на авионот



FSW во резервоарот на ракета



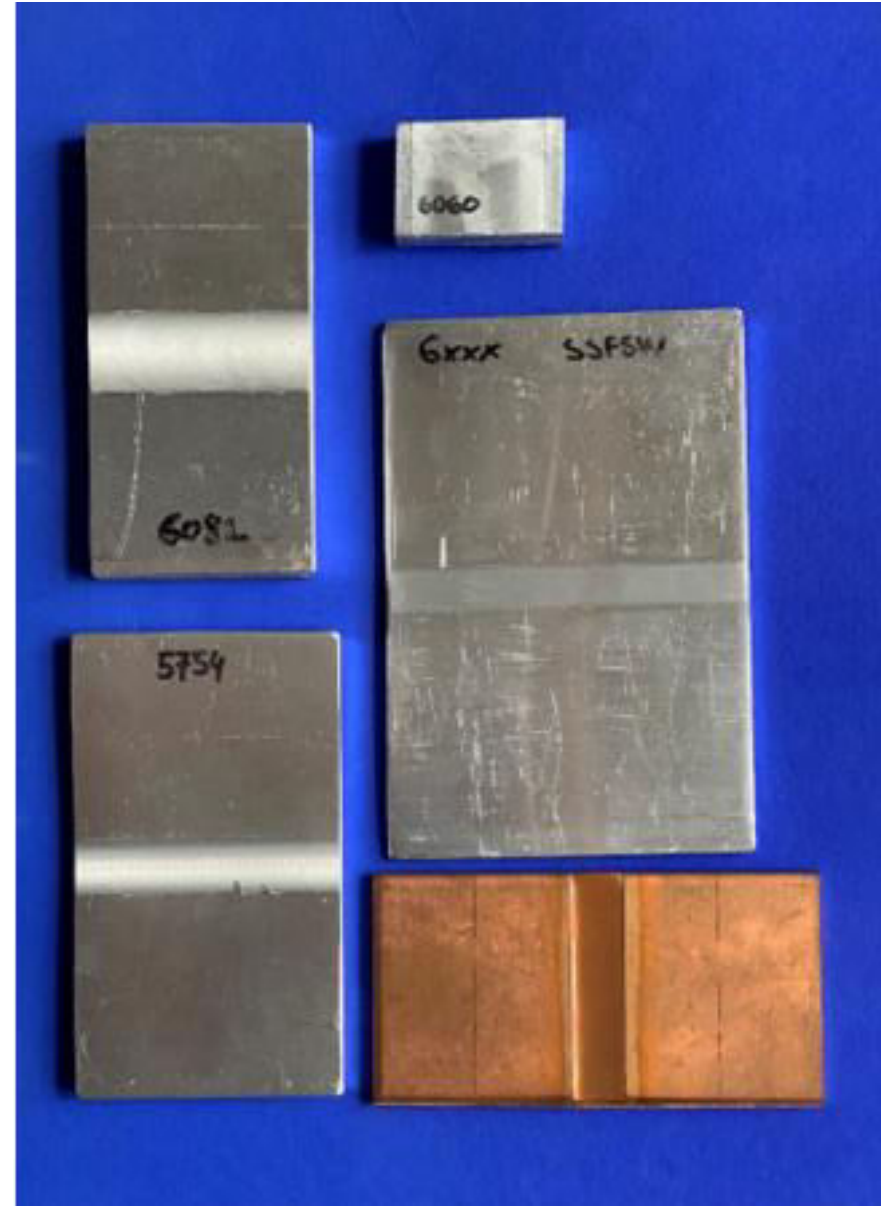
Првиот брод чии панели беа заварени со FSW



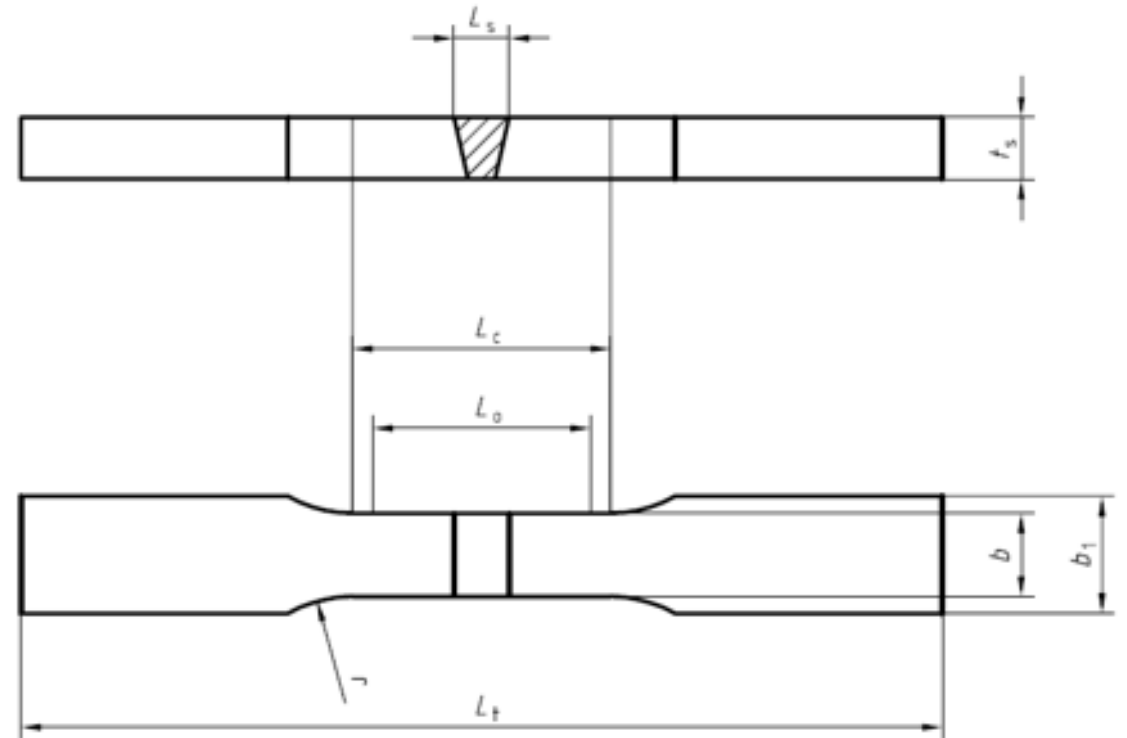


8. Практичен дел

1. Ицпитување на киненње
2. Металогграфско испитување

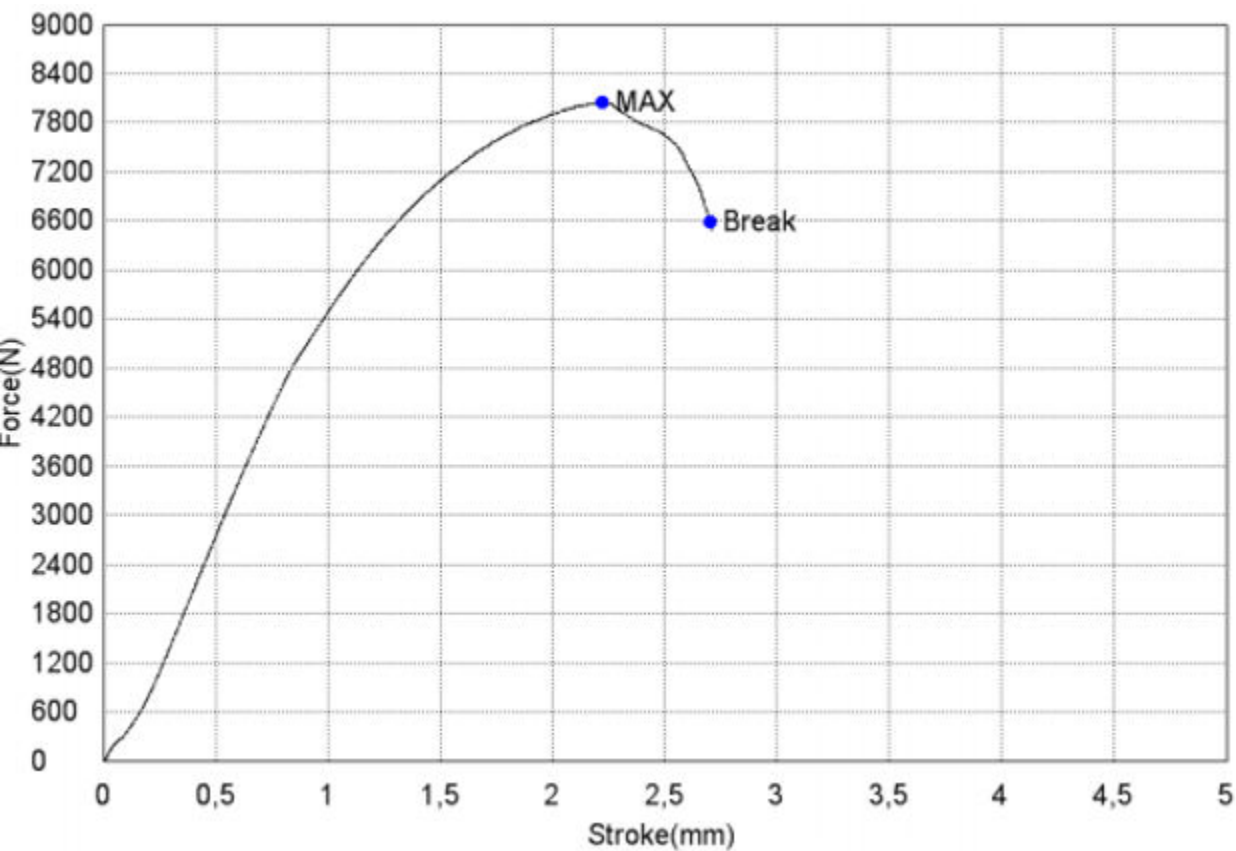


8.1 Испитување на кинење

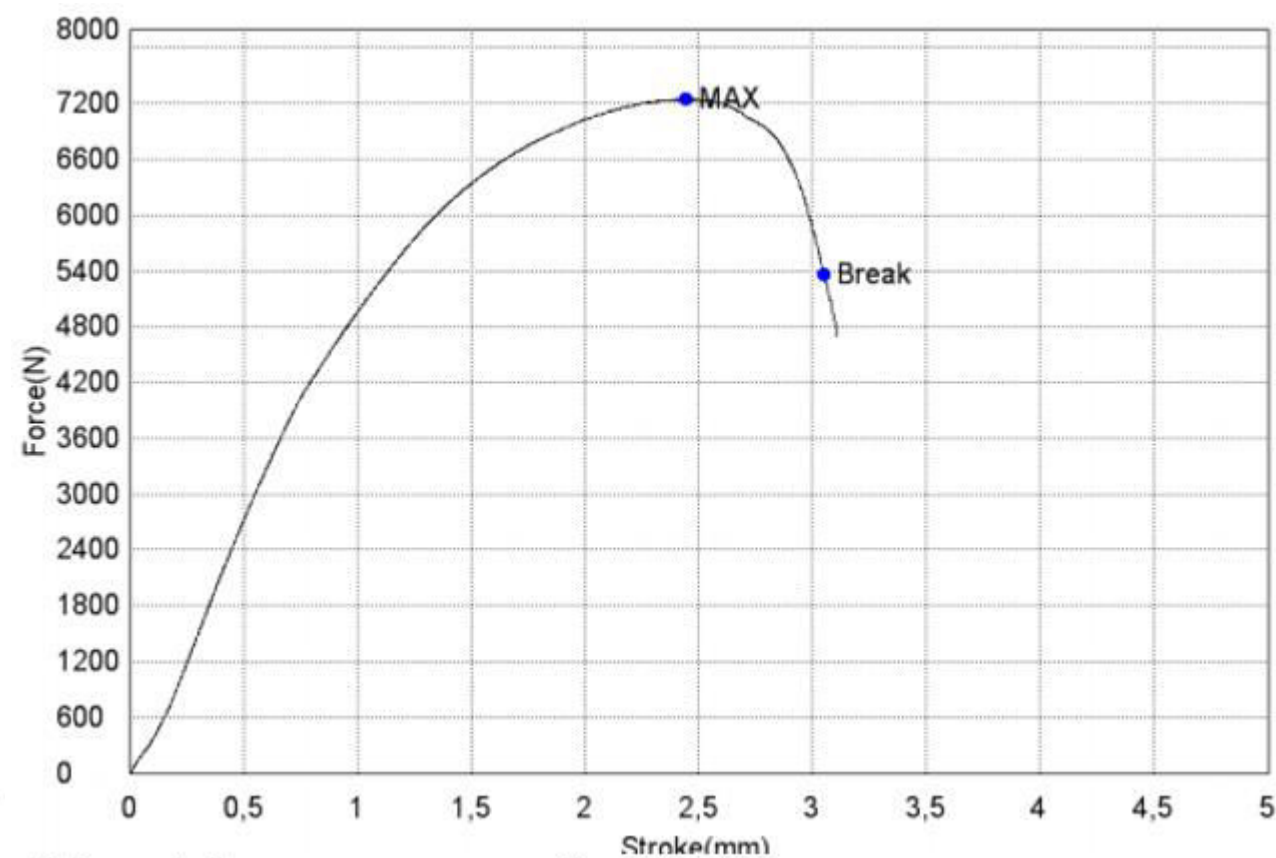


Резултати од испитувањето на кинење

- Епрувета 1



- Епрувета 2

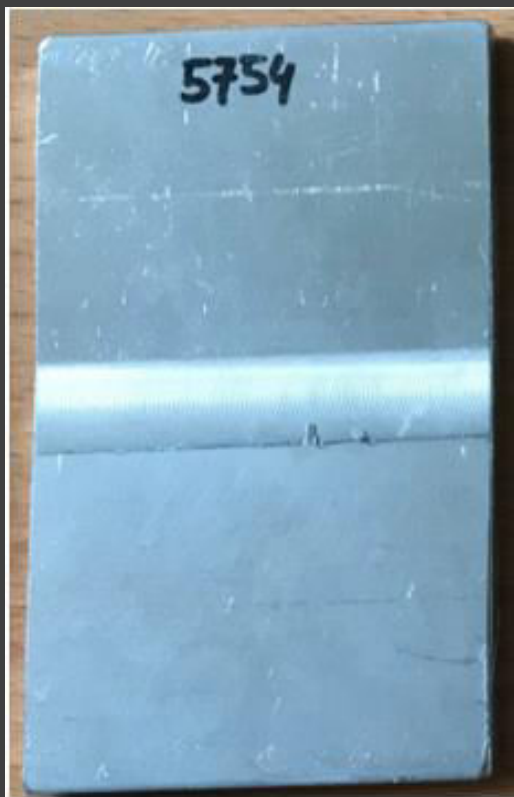




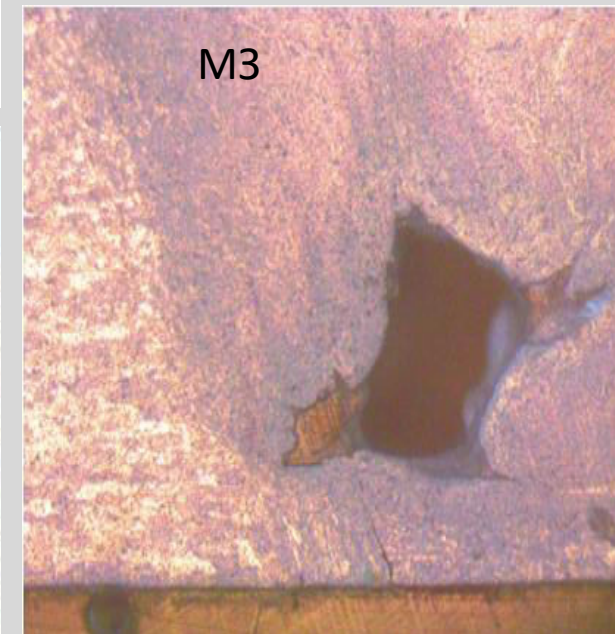
8.2 Металографско испитување

- Подготовката за металографското испитување опфаќа:
- заливање,
- брусење,
- полирање и
- нагризување.

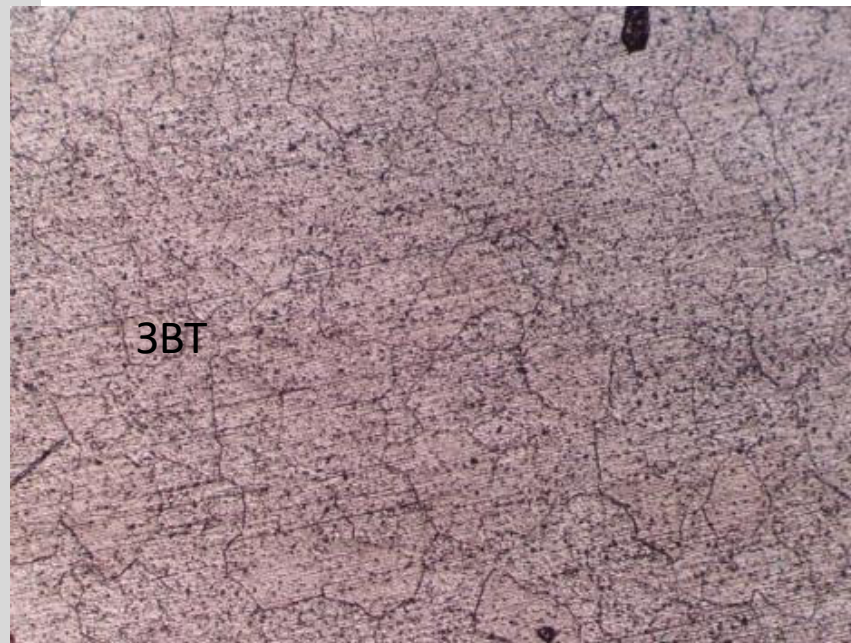
5754 AlMg (FSW)



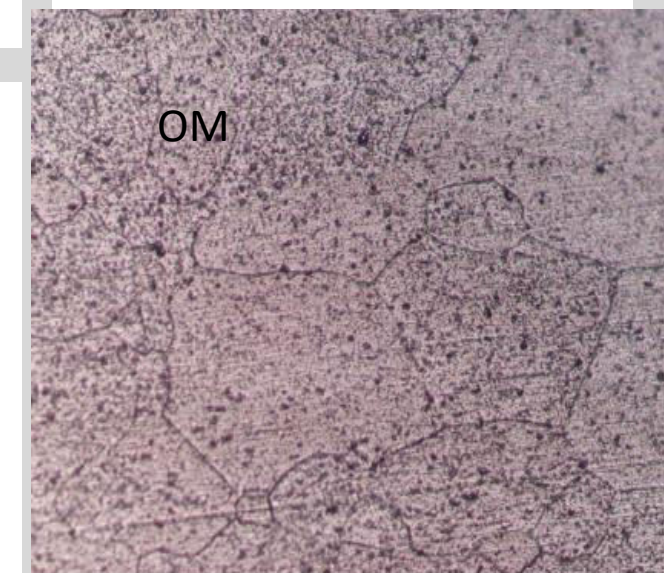
Метал на заварот	148,32 HV
ЗВТ	82,6 HV
Основен материјал	231,75 HV



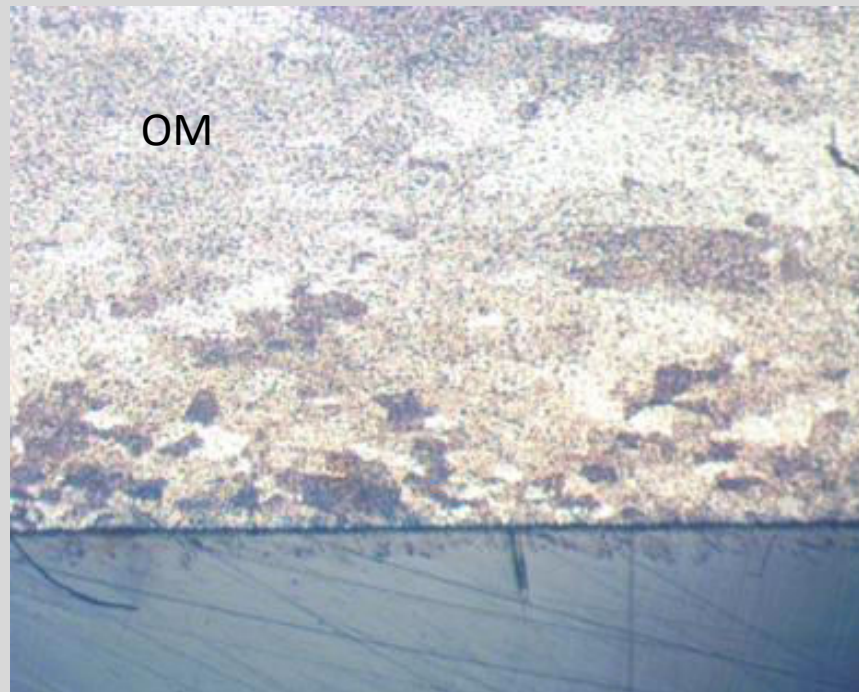
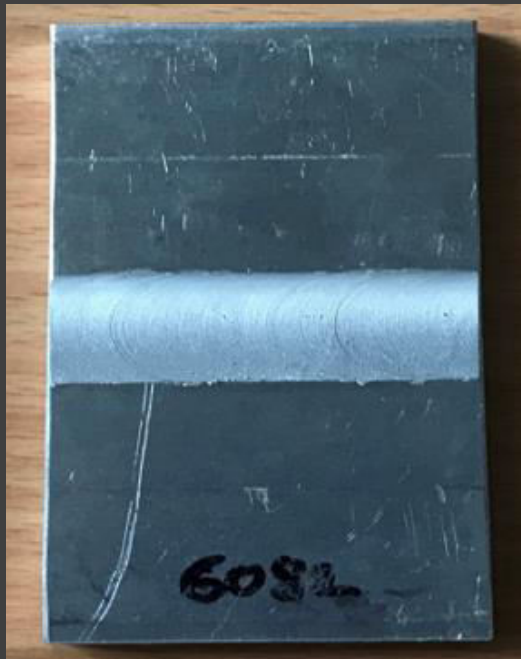
6060 AlMgSi (FSW)



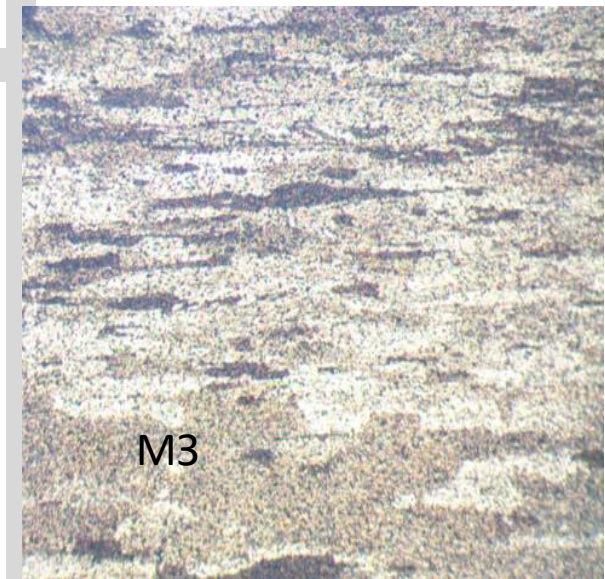
Метал на заварот	116 HV
ЗВТ	119,72 HV
Основен материјал	94,6 HV



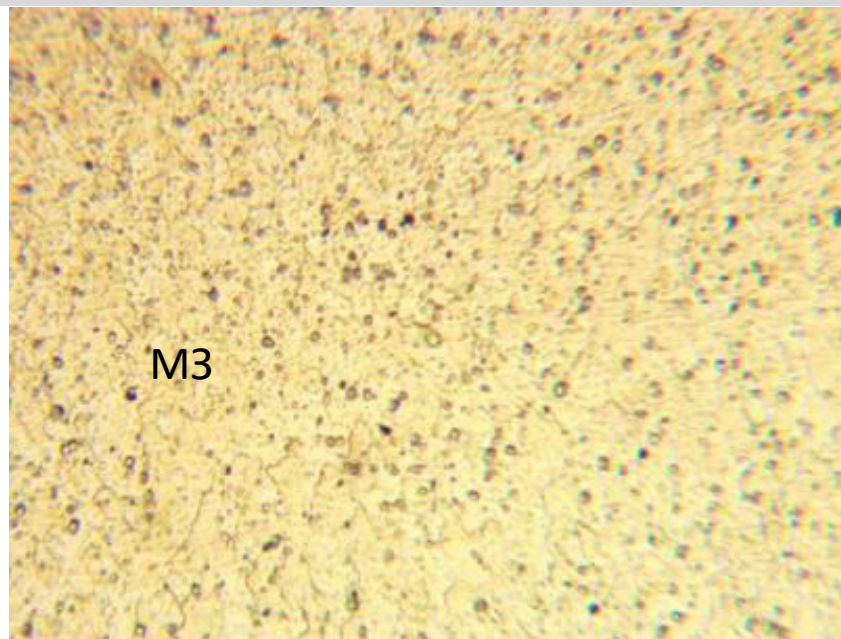
6082 Al (FSW)



Метал на заварот	123,55 HV
3BT	123,55 HV
Основен материјал	148,32 HV



6xxx Al (SSFSW)



Метал на заварот	106,05 HV
3BT	89,55 HV
Основен материјал	127,53 HV

**ВИ БЛАГОДАРАМ ЗА
ВНИМАНИЕТО !!!**