



**РЕПУБЛИКА СРБИЈА
ЦЕНТАР ЗА ИСТРАЖИВАЊЕ
НЕСРЕЋА У САОБРАЋАЈУ**

ПРИВРЕМЕНИ ИЗВЕШТАЈ О ИСТРАЗИ ОЗБИЉНЕ НЕЗГОДЕ

Авион:	Piper PA 34-200T
Регистарска ознака:	T7-YCQ
Година производње:	1981.
Серијски број:	34-7870302
Власник:	Физичко лице
Корисник:	Физичко лице
Место озбиљне незгоде:	Аеродром „Лисичији јарак“, град Београд
Датум озбиљне незгоде:	08.09.2023. године
Време озбиљне незгоде:	13:30 (ЛВ)
Фаза лета:	Након слетања

Јул, 2025

У овом Извештају изнети су резултати истраживања озбиљне незгоде авиона Piper PA 34-200T, регистарске ознаке T7-YCQ, која се догодила 08.09.2023. године на аеродрому „Лисичији јарак“, град Београд.

Радну групу за испитивање овог удеса образовао је директор Центра за истраживање несрећа у саобраћају (даље - Центар), Решењем Број: 343-00-01/2023-01-03-8 од 15.09.2023. године, и изменом Решења Број: 343-00-01/2023-01-03-40 од 12.06.2025. године.

Истраживање удеса спроведено је у складу са одредбама Закона о истраживању несрећа у ваздушном, железничком и водном саобраћају („Службени гласник РС“ бр. 66/15 и 83/18) и Правилника о истраживању удеса и озбиљних незгода у ваздушном саобраћају („Службени гласник РС“ бр. 113/2015 и 50/2019).

Истраживање и откривање узрока несрећа (удеса и озбиљних незгода) нема за циљ утврђивање кривичне, привреднопреступне, прекршајне, дисциплинске, грађанскоправне или неке друге одговорности. Стручни послови који се односе на истраживања несрећа су независни од кривичних истрага или других паралелних истрага којима се утврђује одговорност или одређује степен кривице. Сви удеси и озбиљне незгоде у ваздушном саобраћају морају да се истраже и анализирају како би се утврдиле чињенице под којима су се десили, ако је могуће открили њихови узроци и потом предузеле мере којима се спречавају нови удеси и озбиљне незгоде.

Сва времена у овом Извештају су приказана као **LT** (*Local Time* - Локално време).

САДРЖАЈ

1	ЧИЊЕНИЧНЕ ИНФОРМАЦИЈЕ.....	4
1.1	Историјат лета.....	4
1.2	Повреде.....	5
1.3	Оштећења на авиону.....	6
1.4	Штета причињена трећим лицима.....	8
1.5	Подаци о пилоту авиону	8
1.6	Подаци о инструктору.....	9
1.7	Подаци о авиону.....	9
1.7.1	Подаци о мотору авиона.....	9
1.7.2	Подаци о пропелерима авиона.....	10
1.8	Информација о организацији.....	10
1.9	Стање на месту озбиљне незгоде.....	10
1.10	Метеоролошки подаци.....	12
1.11	Навигациона средства и опрема.....	12
1.12	Подаци о комуникацији пилота са надлежном контролом летења	13
1.13	Регистратори лета	13
1.14	Медицински и патолошки подаци.....	13
1.15	Подаци о пожару.....	13
1.16	Трагање и спасавање.....	13
1.17	Аспекти преживљавања	13
1.18	Испитивања и истраживања	13
2	АНАЛИЗА ОЗБИЉНЕ НЕЗГОДЕ	14
3	ЗАКЉУЧЦИ	52
3.1	Налази	52
3.2	Узроци озбиљне незгоде	52
4	БЕЗБЕДНОСНЕ ПРЕПОРУКЕ	52

1. ЧИЊЕНИЧНЕ ИНФОРМАЦИЈЕ

1.1. Историјат лета

Дана 08. септембра 2023. године око 13:30 часова по локалном времену (ЛВ), на аеродрому „Лисичји јарак“ (ICAO - LYBJ), градска општина Палилула, град Београд, дошло је до озбиљне незгоде авиона типа Piper Aircraft Co. PA-34-200T, регистарске ознаке T7-YCQ. Наведеног дана, пилот-инструктор се нашао са пилотом-студентом на обуци на аеродрому „Лисичји јарак“, територија града Београда, у циљу извршења планираног тренажног лета. Након припреме за лет, подношења плана лета и прегледа авиона пред полетање, при чему нису установљени било какви проблеми или недостаци, посада је кренула са извршењем планираног лета – полазак са аеродрома „Лисичји јарак“ - лет до аеродрома „Ченеј“ код града Нови Сад са извршењем пар школских кругова – повратак на аеродром „Лисичји јарак“. Авион је полетео, извршио планирано летење и повратак без икаквих проблема. Приликом прилаза за слетање на аеродром „Лисичји јарак“ посада је по процедури извршила извлачење стајног трапа које је комплетирано без проблема и са позитивном индикацијом извучености све 3 ноге стајног трапа (3 зелене лампице) и забрављивањем. Посада је, по изјави пилота, извршила слетање на праг 14 полетно-слетне стазе (ПСС) аеродрома у складу са прописаним нормама, при чему је осетила јаче вибрације услед неравнина на ПСС. Авион је успорио и посада је мањом брзином наставила да таксира (рула) ка рулници која је од ПСС водила ка платформи аеродрома „Лисичји јарак“. Приликом скретања у десно ка рулници, посада је осетила пропадање авиона на десној страни, као да је дошло до увлачења десне ноге стајног трапа, те је одмах зауставила авион и угасила моторе. Након искључења свих система, посада је самостално, без повреда, напустила авион. Том приликом, установила је да је дошло до лома десне ноге стајног трапа која се повукла уназад испод крила, док је авион десним крилом и доњим делом поклопца десног мотора лежао на тлу (слике 1,2 и 3), а елиса десног мотора је имала трагове ударања о тло.



Слика 1. Изглед и стање авиона на месту удеса



Слика 2. Изглед и стање авиона на месту удеса



Слика 3. Изглед и стање авиона на месту удеса

1.2. Повреде

Повреде	Посада	Друга лица
Смртне	/	/
Тешке	/	/
Лаке	/	/

1.3. Оштећења на авиону

Током прегледа авиона приликом увиђаја на месту озбиљне незгоде, установљена су оштећења десне ноге стајног трапа, доње стране оплате трупа (слике 8, 9,), мања оштећења елисе десног мотора (слика 7) као и десног крила (слика 7). Услед удара авиона о тло дошло је до прелома маказа на десној нози стајног трапа (слике 4, 5, и 6).



Слика 4. Прелом маказа на нози стајног трапа



Слика 5. Затечено стање ноге стајног трапа



Слика 6. Оштећења стајног трапа авиона



Слика 7. Крило авиона и елиса мотора



Слика 8. Оплата доњег дела трупа



Слика 9. Оплата доњег дела трупа

1.4. Штета причињена трећим лицима

Штета трећим лицима не постоји.

1.5. Подаци о пилоту авиона

Старосна доб:	41 година
Пол :	мушки
Дозвола број:	SRB.FCL. 0452/2312 издата од стране ДЦВ Републике Србије
Тип дозволе и датум првог издавања:	PPL(A) 13.03.2019.
Овлашћења:	SEP (land)
Лекарско уверење:	Број уверења: RS27736 Датум издавања 04.09.2023.
Налет у последњих: 24 часа	/
48 часа	/
15 дана	/
30 дана	8:03

1.6. Подаци о инструктору

Старосна доб:	62 година
Пол :	мушки
Дозвола број:	SRB.FCL. 0165/0574 издата од стране ДЦВ Републике Србије
Тип дозволе и датум првог издавања:	CPL(A), PPL(A) 19.09.1991.
Овлашћења:	BTR, MEP (land), SEP (land), STR, IR
Лекарско уверење:	Број уверења: RS27586 Датум издавања 04.08.2023.
Број сертификата испитивача:	SRB/E/0050 Датум издавања: 30. 11. 2023. FE(A), IRE(A) важи до 30. 04. 2025. FIE(A) важи до 30.11. 2026.

1.7. Подаци о авиону

Тип:	Piper PA 34-200T
Произвођач ваздухоплова:	Piper Aircraft, Inc
Регистарска ознака:	T7-YCQ
Фабрички/серијски број:	34-7870302
Година производње:	1981. г
Макс. дозвољена маса на полетању:	2165 кг
Уверење о регистрацији:	Број документа 361, издат 03.10.2019. од стране цивилне ваздухопловне власти Републике Сан Марино
Уверење о пловидбености:	Број документа 153, издат 22.11.2022. од стране цивилне ваздухопловне власти Републике Сан Марино
Потврда о провери пловидбености:	Важи до 22.11.2023.
Укупан налет од почетка употребе :	4055.9 на дан 22.11.2022.

1.7.1. Подаци о мотору авиона

Произвођач:	TCM L
Модел:	TSIO-360-EB
Серијски број:	265773-R (леви мотор) 808100-R (десни мотор)

1.7.2. Подаци о пропелерима авиона

Произвођач	HARTZELL
Модел	PROP.BHC-C2YF-2CLKUF
Серијски број:	AN6869 (леви мотор) AN51117E (десни мотор)

1.8. Информације о организацији

Аеродром „Лисичји Јарак” (LYBJ) поседује дозволу за коришћење (редни број 1. у евиденцији аеродрома са дозволом за коришћење) издату 24.11.2023. године од стране Директората цивилног ваздухопловства Републике Србије, са неограниченим роком важења. Аеродром поседује две паралелне полетно-слетне стазе: 14R-32L и 14L-32R, правоугаоног облика дужине 1000 метара и ширине 37 метара, травнате подлоге. Намењен је за некомерцијално и спортско летење, обуку пилота, падобранске и моделарске активности дању у повољним метеоролошким условима. Оператер аеродрома је Ваздухопловни савез Србије.

Центар за обуку АТО „Pegaz Pilot Academy“ се налази у евиденцији одобрених центара за обуку ваздухопловног особља са бројем поврде SRB/ATO-008, чији је одговорни руководилац Иван Аћимчев, уједно и власник авиона.

1.9. Стање на месту озбиљне незгоде

Приликом увиђаја на месту озбиљне незгоде, као и ПСС у делу у којем је предметни авион извршио слетање, службеници Центра су установили велики број оштећења ПСС аеродрома „Лисичји јарак“, са улегнућима дубине до 20cm у односу на површину ПСС (слика 11), рупама веће дубине, попречним и дужинским каналима различитих величина (слика 10 и 12) и великим бројем неравнина насталих услед пуцања површине ПСС.

Службеници Центра су са безбедне локације испратили слетање и таксирање другог авиона у истом смеру као и авион који је учествовао у овој озбиљној незгоди и установили су да долази до великих вибрација и померања авиона приликом слетања, као и рулања током таксирања које се мора извршити знатно мањом брзином услед неравнина на ПСС и рулници аеродрома „Лисичји јарак“.



Слика 10. Неправилности на полетно-слетној стази



Слика 11. Неправилности на полетно-слетној стази



Слика 12. Неправилности на полетно-слетној стази

1.10. Метеоролошки подаци

На основу METAR извештаја издатог у 11:30 UTC, метеоролошки услови су били погодни, односно:

- Ветар из правца 120° са 11 чворова, али је стварни правац променљив између 90° и 150°
- Ведро небо, видљивост већа од 10 km, нема метеоролошких појава, нема облака од оперативног значаја
- Температура = 28° C
- Тачка росе = 13° C
- QNH=1021 hPa
- Без очекиваних значајних промена

1.11. Навигациона средства и опрема

Авион поседује стандардна навигациона средства и опрему, који нису утицали на узроке који су довели до ове озбиљне незгоде.

1.12. Подаци о комуникацији пилота са надлежном контролом летења

ATZ Лисичји Јарак није био активан, ваздухоплов је био на вези са AKL Батајница. Пилот је у 11:28 UTC телефоном јавио да је слетео, а догађај се десио непосредно након завршетка разговора са контролом летења у AKL Батајница.

1.13. Регистратори лета

Нема.

1.14. Медицински и патолошки подаци

Нису рађени.

1.15. Подаци о пожару

Није било пожара приликом ове озбиљне незгоде.

1.16. Трагање и спасавање

Није било потребе за покретањем акције трагања и спасавања.

1.17. Аспекти преживљавања

Није применљиво.

1.18. Испитивања и истраживања

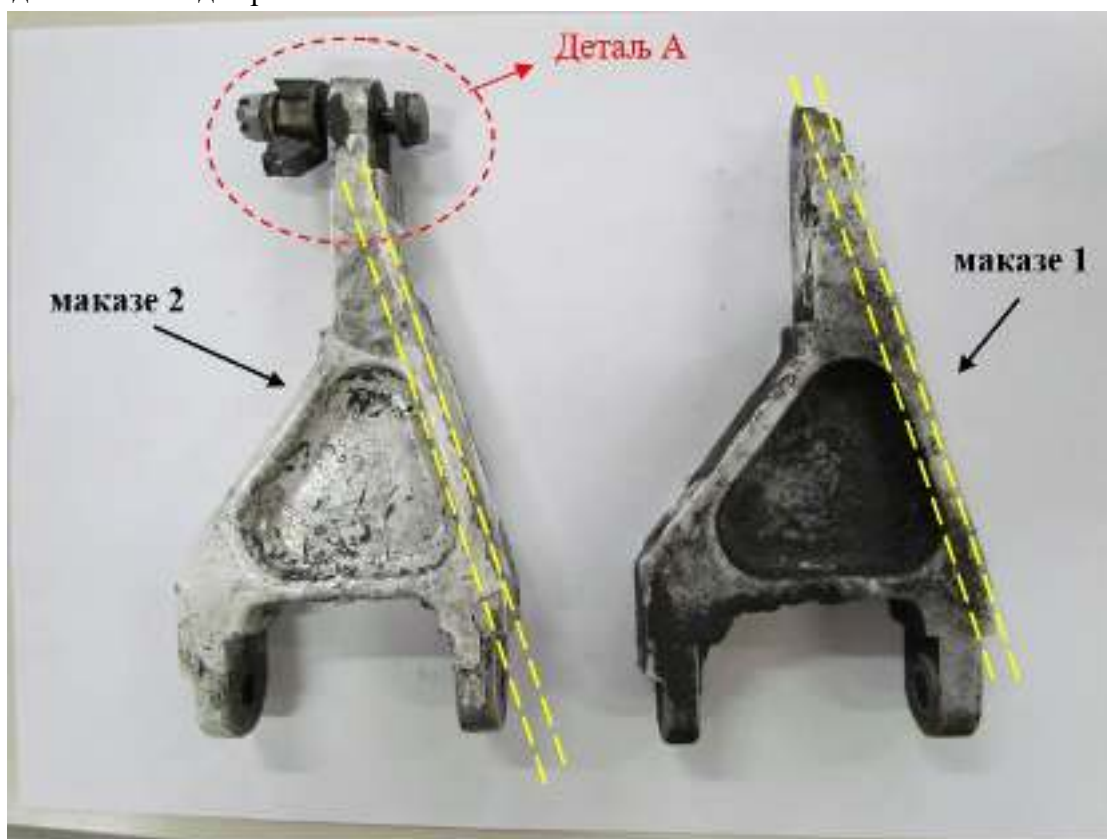
Сва испитивања и истраживања спроведена су на основу стања затченог током увиђаја, изјава учесника и сведока и прикупљених докумената и података о удесу. Испитивања материјала су вршена у сарадњи са Војнотехничким институтом Београд.

2. АНАЛИЗА ОЗБИЉНЕ НЕЗГОДЕ

Од Наручиоца посла (Центар за истраживање несрећа у саобраћају), а у складу са Уговором број 08/3479-11/24 од 31.10.2024. године, достављен је узорак поломљеног дела стајног трапа авиона Piper PA 34-200T, слика 13.

Према информацији Наручиоца, Авион Piper PA 34-200T, регистарски број T7 YCQ, имао је удес на Аеродрому Лисичји Јарак код Падинске Скеле, дана 08.09.2023. године, приликом кога је дошло до прелома дела стајног трапа.

Техничка документација, сервисна књижица авиона, атести материјала, као ни детаљније информације о самом догађају, приликом којег је дошло до лома дела стајног трапа авиона, нису достављени од стране власника авиона.



Слика 13: Изглед достављеног узорка поломљеног дела стајног трапа

На основу уговором дефинисаног обима испитивања, било је потребно извршити следећа испитивања у циљу дефинисања узрока лома:

- чишћење делова, визуелни преглед и фотографисање,
- хемијска анализа узорка методом ОЕС,
- фрактографија лома на микроскопу (стерео и СЕМ),
- испитивање микроструктуре на оптичком микроскопу,
- мерење тврдоће узорка,
- обрада резултата испитивања, анализа лома,
- израда и достављање Извештаја о испитивању.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ДЕО

Визуелни преглед

Визуелни преглед узорка поломљеног дела стајног трапа и његових појединачних делова, слика 13, спроведен је очно и на стерео микроскопу типа „Leica”, који је опремљен камером DFC 245 и софтвером за обраду слике LAS 4.3.1. у циљу детекције оштећења и карактеризације лома. Након спроведеног визуелног прегледа, изглед достављеног узорка и његових делова је документован фотографијама.

Одређивање хемијског састава

Хемијски састав вијка и маказа одређен је методом оптичке емисионе спектрометрије (ОЕС) на уређају „Belec Compact Port HLC“.

Мерење тврдоће и микротврдоће

Мерење тврдоће извршено је на глави вијка методом Vickers-a (HV10), према стандарду SRPS EN ISO 6507-1.

Тврдоћа је измерена на маказама 1 и 2, методом Brinell-a (2,5/62,5/30), сагласно стандарду SRPS EN ISO 6506-1.

Мерење тврдоће вијка и маказа је извршено на уређају „Wolpert Dia Testor 2Rc“.

Мерење микротврдоће извршено је на металографским узорцима вијка, односно на попречном пресеку тела вијка и на уздужном пресеку навоја вијка, методом Vickers-a са HV 0,5, при сили утискивања $F = 4,904 \text{ N}$. У циљу провере евентуалног постојања разугљеничења површинског слоја навоја, микротврдоћа је измерена и на ивици корена навоја методом Vickers-a HV 0,025, при сили утискивања $F = 0,245 \text{ N}$.

Микротврдоћа је мерена на уређају „Wilson DiaMet“ VH1102, према стандарду SRPS EN ISO 6507-1.

Испитивање затезањем

Испитивање затезних својстава извршено је према стандарду SRPS EN ISO 6892-1, на уређају „SCHENCK TREBEL RM 100”, који је опремљен рачунарским системом и софтвером за аквизицију и обраду података. Епрувете за испитивање су израђене из маказа 1 и 2 (по једна епрувета). Места узорковања епрувета обележена су жутим испрекиданим линијама на слици 13. Коришћена је плосната епрувета ширине 6 mm и почетне мерне дужине $L_0 = 25 \text{ mm}$. Због мале укупне дужине епрувете, испитивање је рађено без екстензометра и добијена вредност напона течења, $R_{p0.2}$, је информативног карактера.

Макрофрактографска анализа

Макрофрактографски преглед преломних површина маказа 1 извршен је на стерео микроскопу типа „Leica”, који је опремљен камером DFC 245 и софтвером за обраду слике LAS 4.3.1, и документован је фотографијама.

Микрофрактографска анализа

Микрофрактографска анализа преломних површина на маказама 1 је извршена на скенирајућем електронском микроскопу типа „JEOL 6010LV“, а семиквантитативна хемијска анализа извршена је методом енергодисперзивне спектрометрије (СЕМ/ЕДС).

Микроструктурна анализа

Микроструктурна анализа вијка извршена је на попречном пресеку тела вијка, и на уздужном пресеку навоја вијка.

Микроструктурна анализа маказа 1 је извршена на попречном пресеку код места настанка лома, слика 14.

Након металографске припреме брушењем и полирањем, узорци вијка су нагрижени у 3% раствору нитала (раствор HNO_3 у етил-алкохолу) док је микроструктура узорка маказа 1 откривена нагризањем у раствору Keller A реагенса. Металографски узорци су испитани на оптичком микроскопу „Leitz Metalloplan“, који је опремљен камером DFC 295 и софтвером за обраду слике LAS 4.3.1.

РЕЗУЛТАТИ ИСПИТИВАЊА

Визуелни преглед поломљеног дела стајног трапа

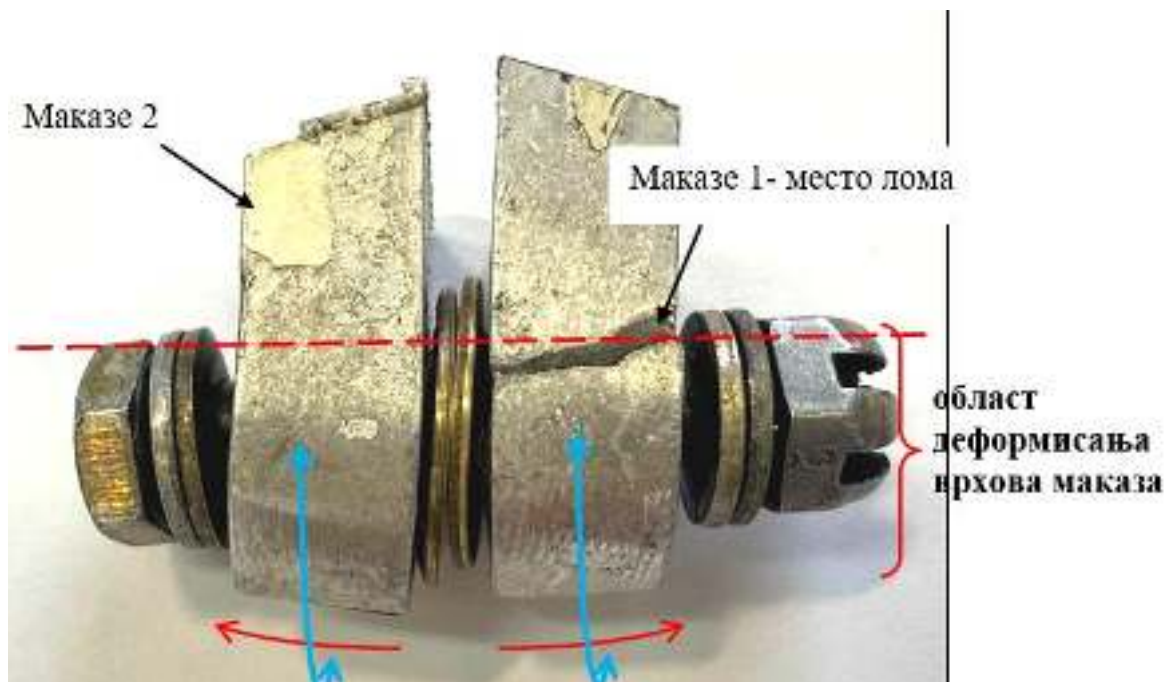
Правоц покретања маказа у оквиру вијачне везе, у условима експлоатације, је у правцу означеном плавим стрелицама на слици 14.

Визуелним прегледом установљено је да је дошло до деформације, односно савијања и контракције попречног пресека тела вијка, слике 16а и 17, као и до деформације врхова маказа у зони вијачне везе, слика 14.

Прегледом достављеног узорка уочена је деформација врхова маказа у правцу нормалном на осу померања склопа која прати правоц савијања вијка, што је означено црвеним стрелицама на слици 14.

Визуелним прегледом алуминијумских маказа констатовано је да је дошло до лома маказа број 1, слике 13 и 14. На маказама су уочене 2 преломне површине, слика 15, и означене су као преломна површина 1 и преломна површина 2.

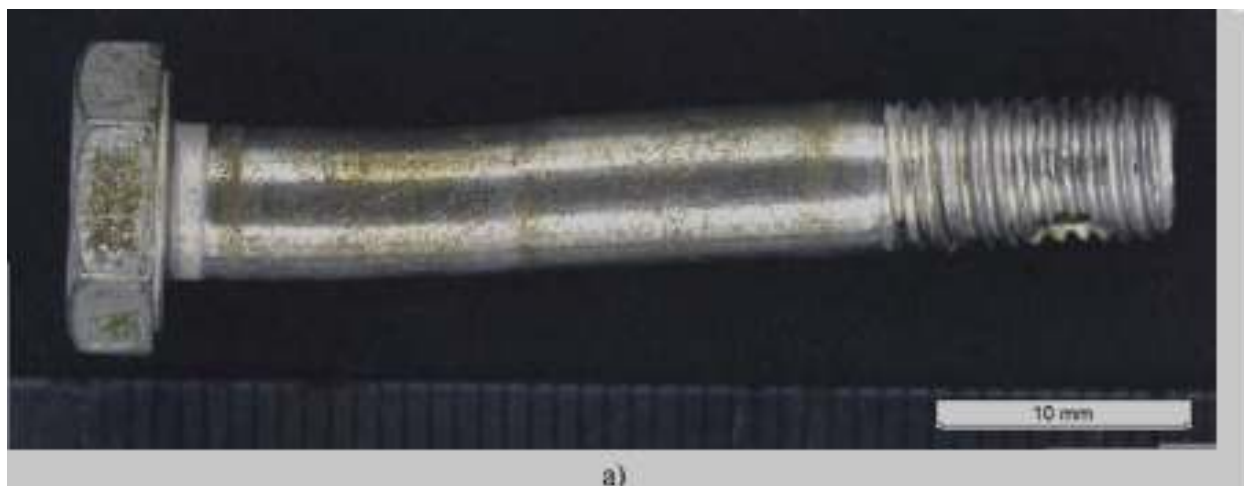
На слици 16 приказани су делови вијачне везе, посматрани на стерео микроскопу.



Слика 14: Вијачна веза маказа - Детаљ А са слике 13.



Слика 15. Места лома на врху маказа 1.



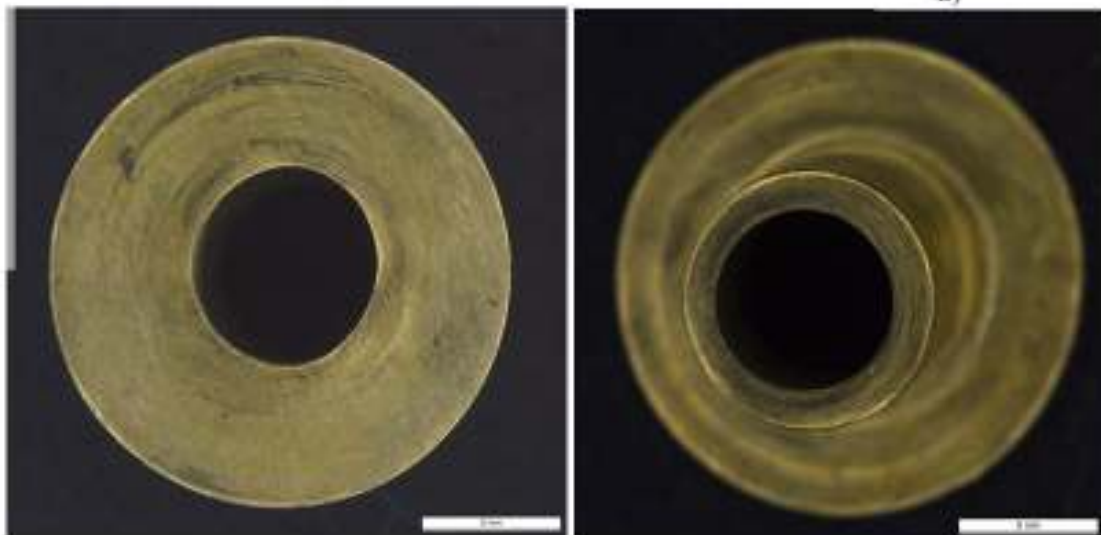
а)



б)



в)



г)

Слика 16. Делови вијачне везе, а) вијак, б) подлошке, в) навртка, г) чаура.

Анализа вијка

Визуелни преглед вијка

На слици 17 приказан је изглед деформисаног вијка. Уочени су савијање тела вијка и контракција попречног пресека, који упућују на постојање пластичне деформације вијка. Укупна дужина целог деформисаног вијка износи $\approx 50 \text{ mm}$, слика 17а. Мерењем дебљине тела вијка на стерео микроскопу, слика 17б, уочава се сужење попречног пресека. На половини тела, пречник вијка износи $\approx 5,95 \text{ mm}$, док близу главе вијка износи $\approx 6,27 \text{ mm}$.



Слика 17. Изглед деформисаног вијка, а) пре и б) после прања.

На равној шестостраној глави вијка, слика 18, уочене су ознаке: троугао са звездом унутра и O/OD. У зони навој постоји отвор за осигурање навртке расцепком.

Према подацима из литературе за маркирање ваздухопловних вијака, ознака троугла са звездицом унутра представља NAS close tolerance bolt. Троугао означава да је вијак са шестостраном главом прецизно машински обрађен за прецизно налегање, са димензијама према одговарајућем AN или NAS /NASM стандарду. Звезда означава да је израђен од легираног челика заштићеног од корозије превлаком кадмијума, затезне /једносечне смичуће чврстоће према одговарајућем AN или NAS /NASM стандарду (мин. гарантовано 861 МПа/517 МПа). За ознаку O/DO нема података, претпоставка је да је то ознака произвођача.

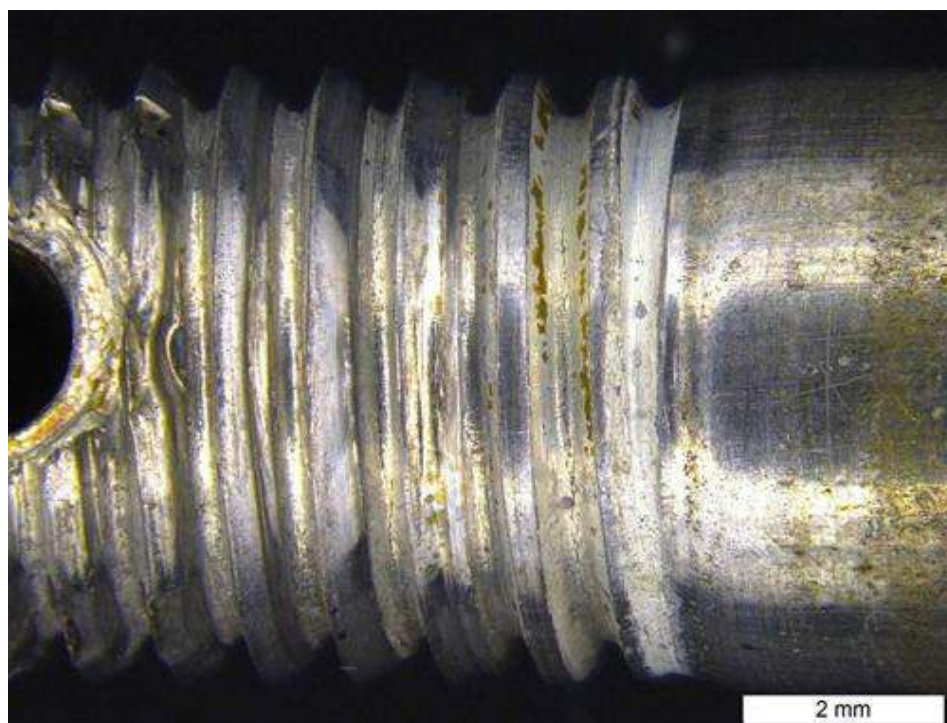
На тржишту су доступни вијци који су идентично маркирани, а одговарају серији AN173 - 168 Aeronautical Standard Machine bolt, према актуелном стандарду NASM 173-186 2020 (заменио стандард AN 173-168). Вијак који је достављен је деформисан, али по димензијама попречног пресека тела, навоја и укупној дужини вијка приближно одговара завртњу ознака AN174-14.



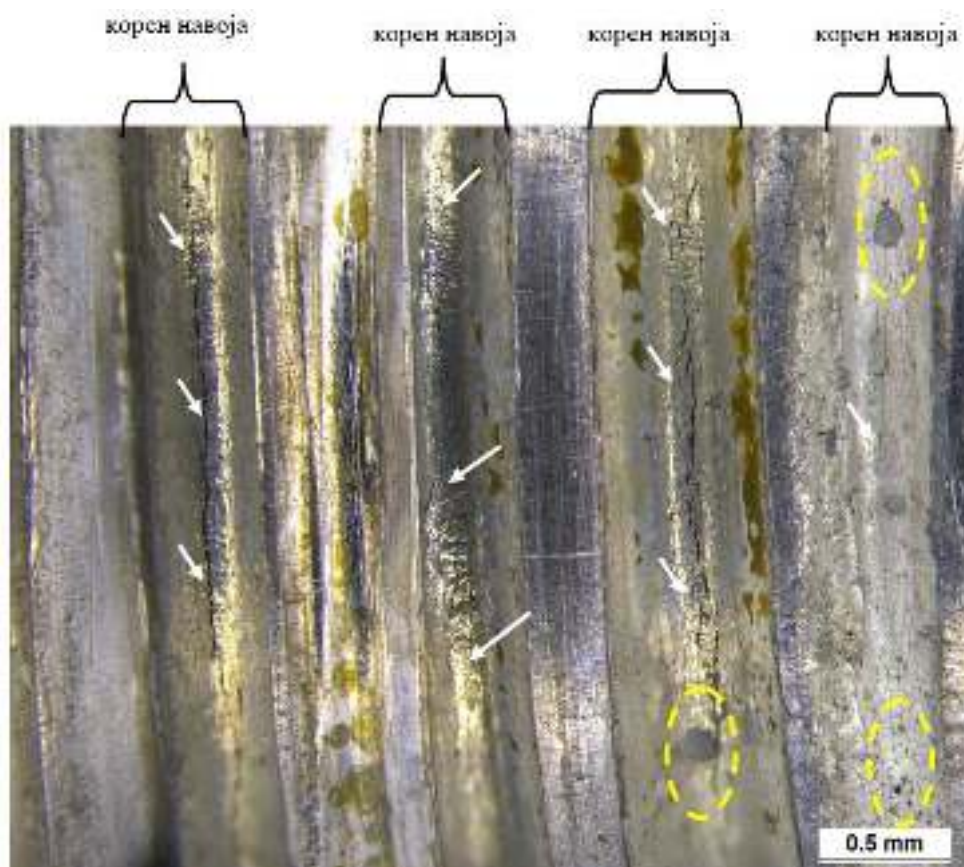
Слика 18. Изглед ознаке на глави вијка.

Визуелним прегледом (на стерео микроскопу) у корену навоја, уочено је више прслина које се простиру радијално дуж осе завојнице навоја. Прслине су означене белим стрелицама на сликама 19 и 20.

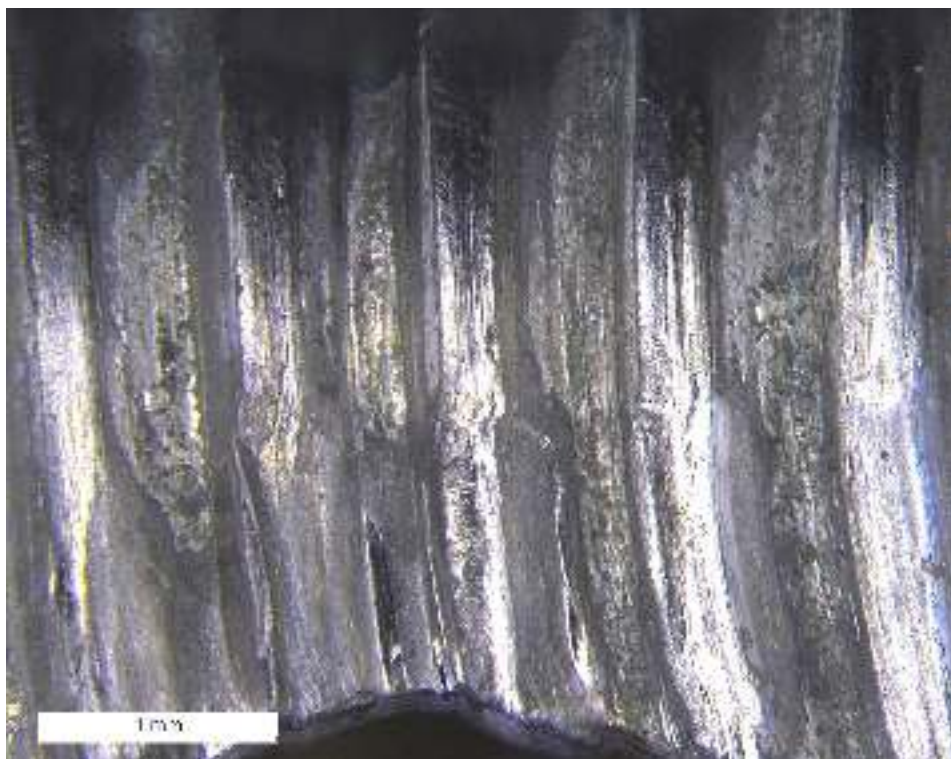
Такође су уочени трагови механичких оштећења навоја, слика 21, и заштитне превлаке вијка (жуте елипсе) слика 20.



Слика 19. Ободне прслине у корену навоја вијка.

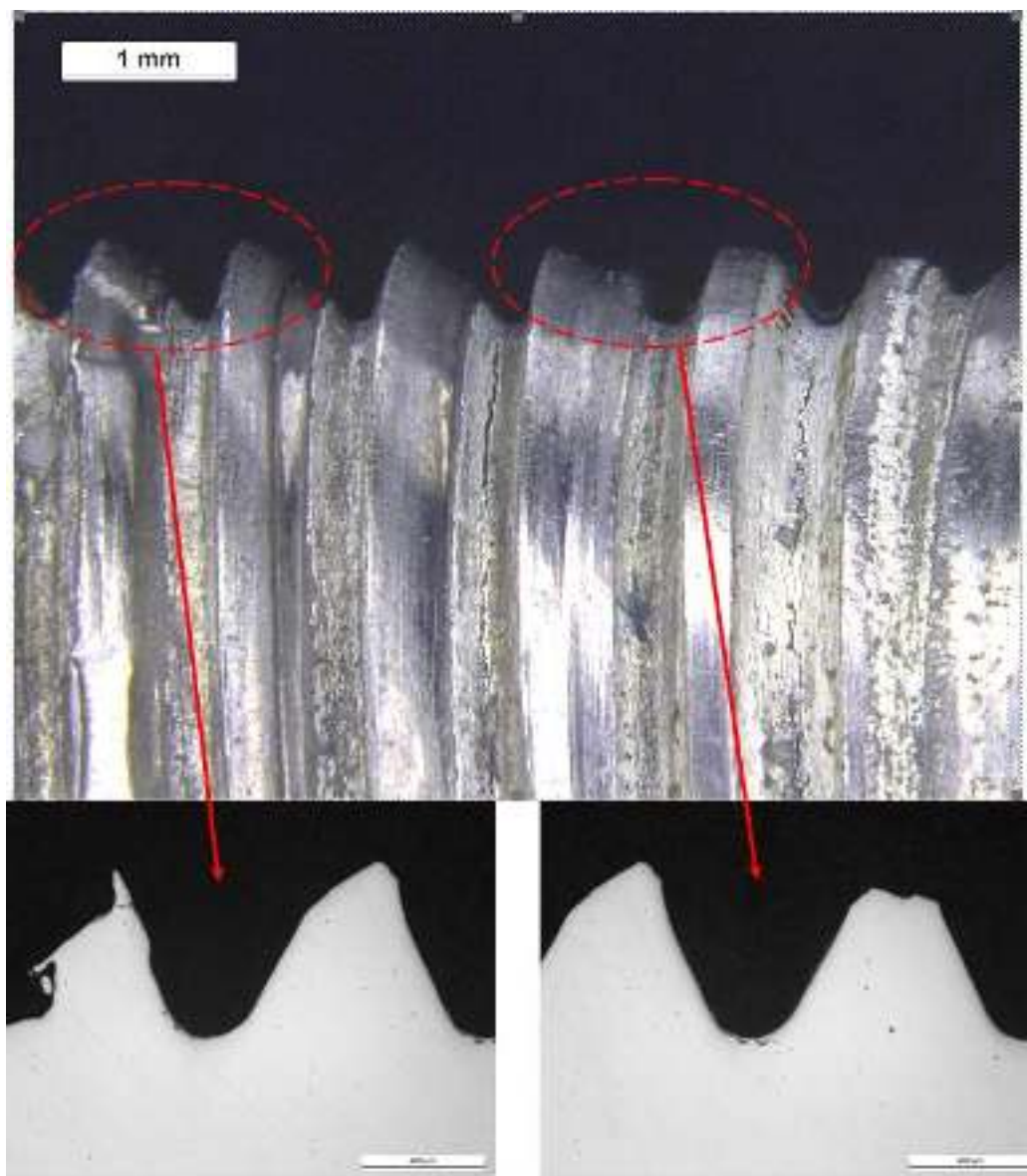


Слика 20. Ободне прслине (беле стрелице) у корену навоја вијка и трагови оштећења заштитне превлаке (жуте елипсе).



Слика 21. Карактеристична механичка оштећења на навоју вијка.

Такође, уочена је разлика у облику врха навоја вијка, тј. навој ближе телу вијка је трапезног облика, док је преостали део навоја конусног облика, слика 22.



Слика 22. Изглед навоја вијка

Хемијски састав вијка

Резултат анализе хемијског састава вијка приказан је у Табели 1.

Табела 1. Хемијски састав узорка вијка

Вијак	елемент, mas %							
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
Ср. вредност	0,39	0,24	0,86	0,01	<0,001	0,47	0,21	0,54
Челик ознаке AISI 8740 (40NiCrMo2-2) према стандарду AMS-S-6049	0,38-0,43	0,15-0,35	0,75-1,00	max 0,025	max 0,025	0,40-0,60	0,20-0,30	0,40-0,70

Хемијски састав вијка одговара материјалу ознаке AISI 8740 (40NiCrMo2-2) према стандарду AMS-S-6049 (Aerospace material specification).

Тврдоћа и микротврдоћа вијка

Резултати мерења тврдоће на глави вијка приказани су у Табели 2.

Табела 2. Резултати мерења тврдоће на глави вијка.

HV10		
Позиција	Измерене вредности	Средња вредност
Глава вијка	311; 311; 311; 317	313 HV

Средња вредност тврдоће главе вијка износи 313 HV.

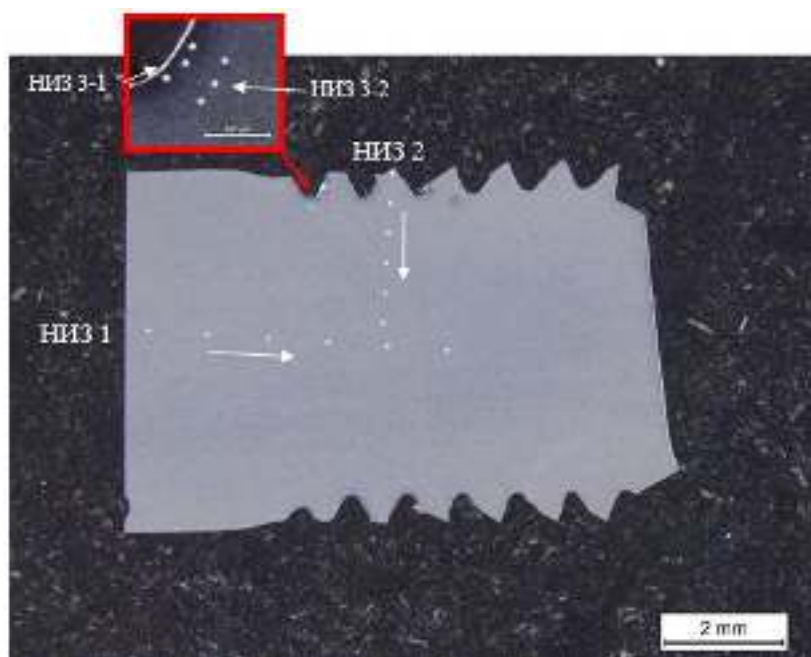
На слици 23 приказан је изглед металографског узорка навоја на ком је измерена микротврдоћа. Правац мерења микротврдоће за НИЗ 1 и НИЗ 2 приказан је белим стрелицама на слици 11.

У Табели 3 дате су вредности расподеле микротврдоће на узорцима навоја и тела вијка.

Расподела микротврдоће по попречном пресеку тела вијка, као и расподела микротврдоће по уздужном пресеку навоја вијка (НИЗ 1) мерена је са растојањем од 1 mm између појединачних отисака, док растојање између отисака код НИЗ-а 2 износи 500 μ m.

Анализом резултата микротврдоће није уочено одступање у вредностима на уздужном пресеку навоја и попречном пресеку тела вијка.

Одсуство разлике у вредностима микротврдоће НИЗ-а 3 – 1 и НИЗ-а 3 – 2 показују да разугљеничени слој није присутан.



Слика 23. Места мерења микротврдоће на вијку

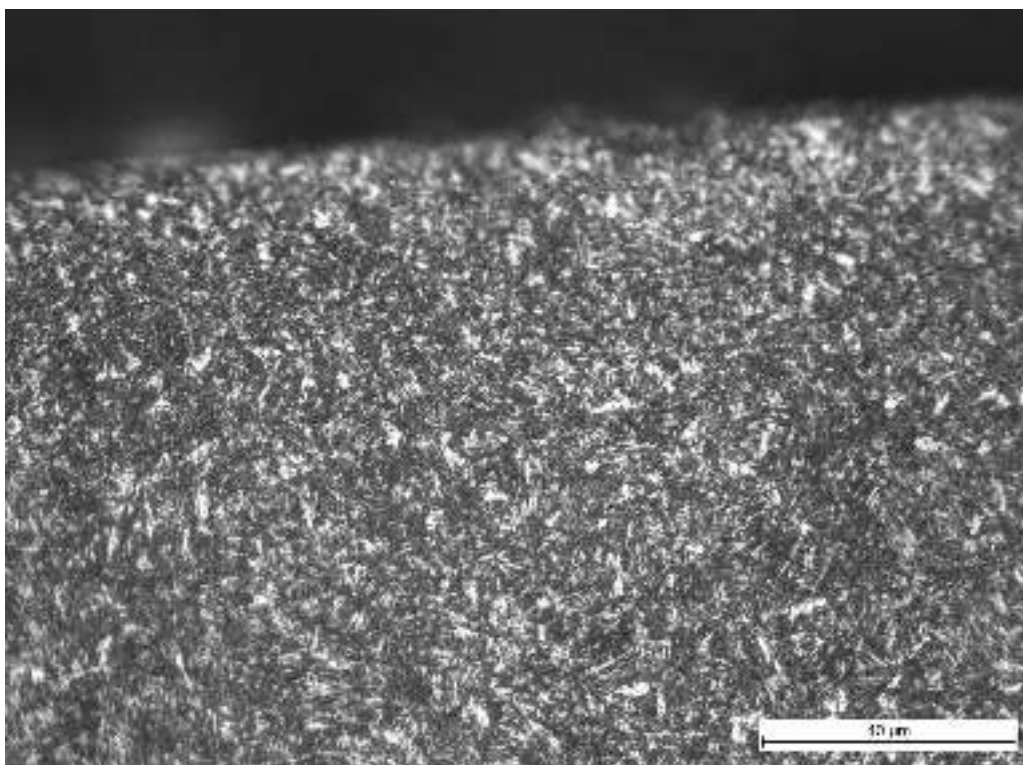
Табела 3. Измерене вредности микротврдоће

Позиција	Измерене вредности	
Навој вијка	HV0,5	
	НИЗ 1	316; 322; 319; 318; 317; 314
	НИЗ 2	321; 317; 320; 320; 316; 317
	HV0,025	
	НИЗ 3- 1	312; 314; 312
	НИЗ 3- 2	314; 316; 319
Тело вијка	HV0,5	
	317; 314; 310; 309	

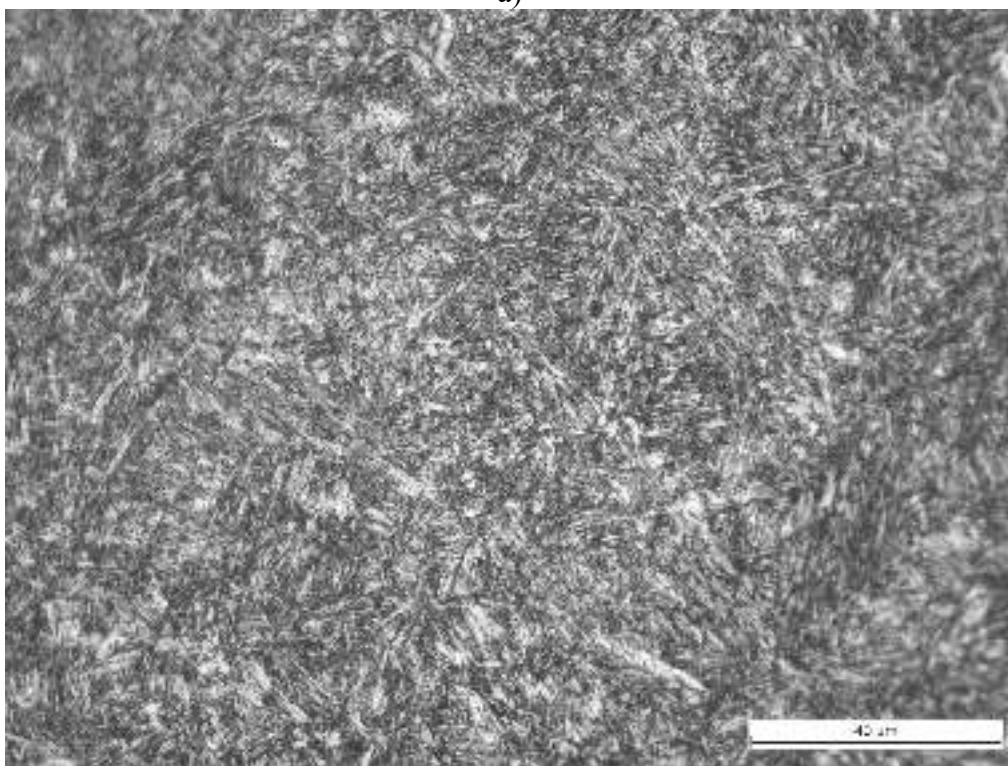
Микроструктура вијка

Микроструктура тела вијка

Микроструктура попречног пресека тела вијка уз ивицу узорка састоји се од ситнозрног отпуштеног мартензита и малог удела беинита, слика 24а. Микроструктура средине узорка тела вијка је отпуштени мартензит са малим уделом заосталог аустенита, слика 24б.



a)

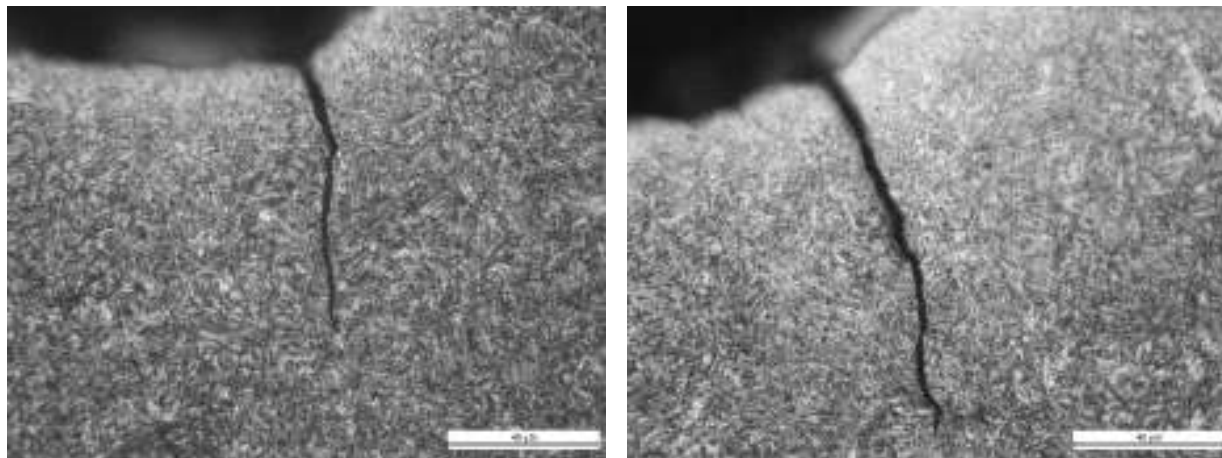


б)

Слика 24. Микроструктура тела вијка, а) уз спољашњу ивицу и б) средина тела вијка.

Микроструктура навоја вијка са СЕМ/ЕДС анализом

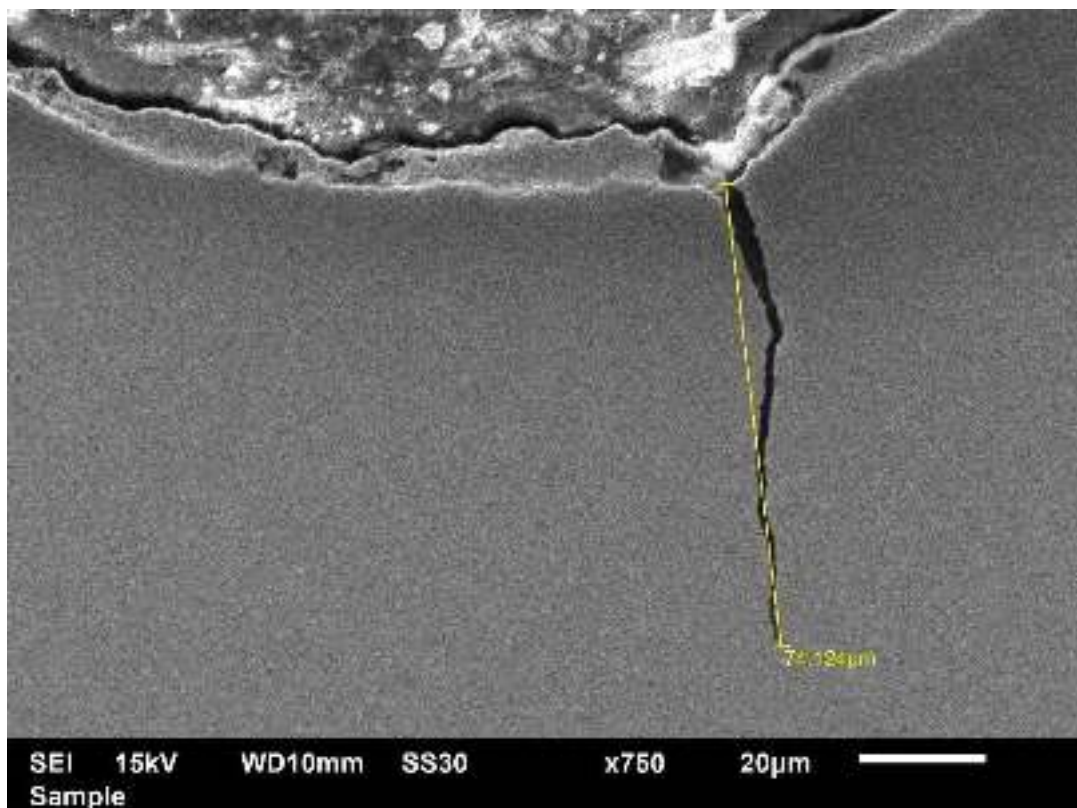
Микроструктура навоја вијка је отпуштени мартензит са малим уделом заосталог аустенита, слика 25.



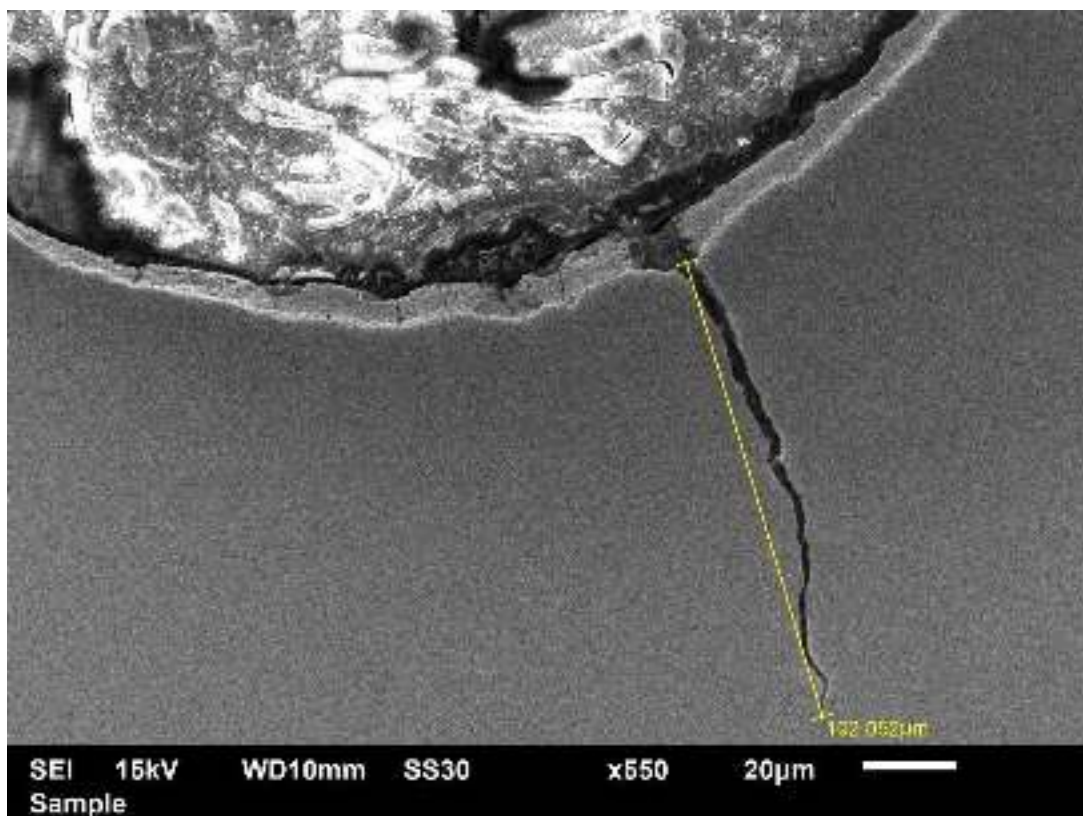
а)

б)

Слика 25. Уздужни пресек навоја, а) и б) прелина у корену навоја вијка



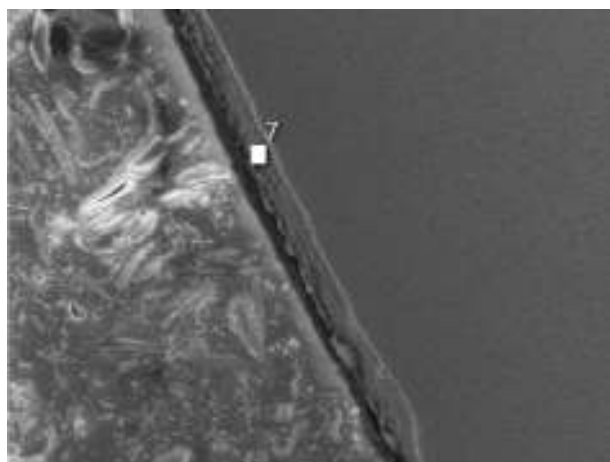
а)



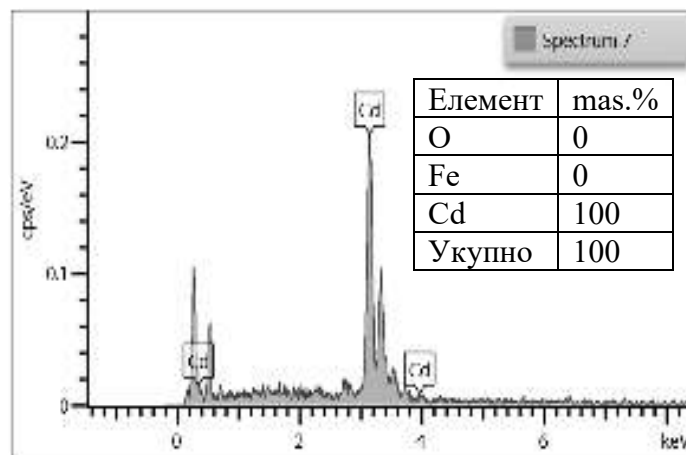
б)

Слика 26. Уздужни пресек навоја, а) и б) прлина у корену навоја вијка, СЕМ

У области корена навоја су прсLINE које пропадају у материјал вијка слика 25 које су уочене и приликом прегледа на стерео микроскопу, слике 19 и 20. Измерене дужине већих прсLINE приказане су на слици 26 и износе $\approx 74,124 \mu\text{m}$ и $102,052 \mu\text{m}$.

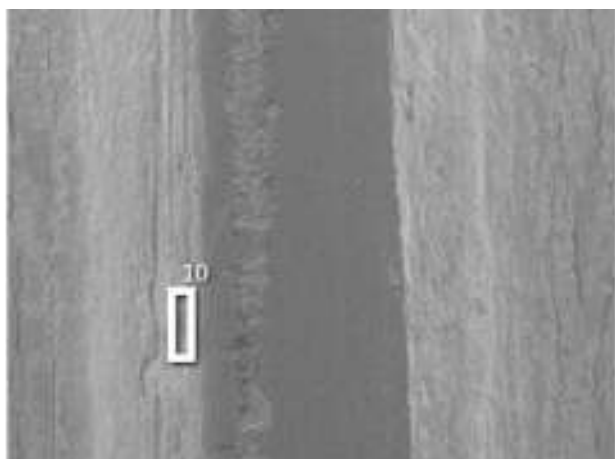


а)

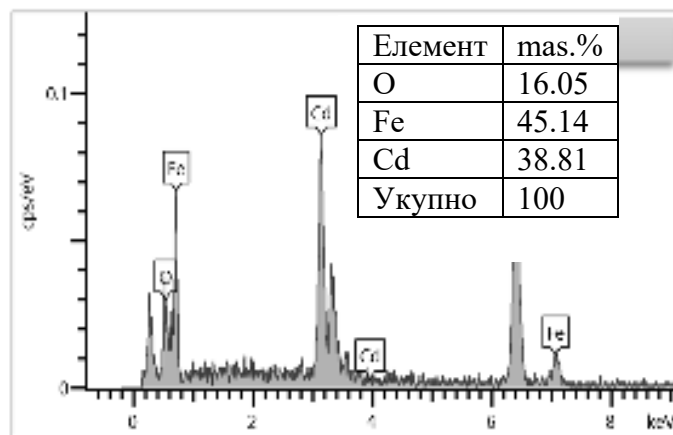


б)

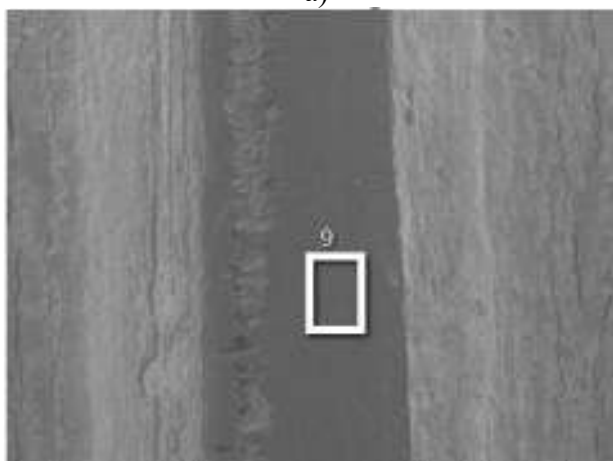
Слика 27. а) Место ЕДС анализе на металогграфском узорку навоја вијка, б) одговарајући спектар



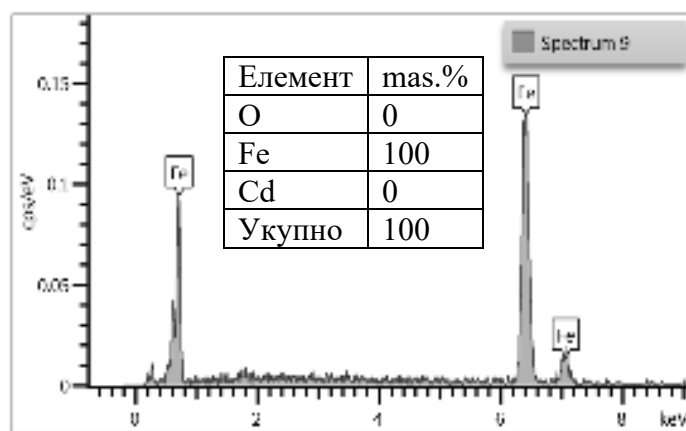
а)



б)



в)



г)

Слика 28. Места ЕДС анализе на навоју вијка: а) близу корена навоја, в) површина врха навоја; б) и г) одговарајући спектри

На сликама 27 и 28 приказана су места ЕДС анализе и одговарајући спектри. Као што се може констатовати на основу резултата ЕДС анализе, заштитни слој је кадмијум и он постоји на местима близу корена навоја, док на површини врха навоја није пронађен. Кадмијумска превлака на површини врха навоја је, претпоставља се, оштећена приликом експлоатације вијка.

Анализа маказа

Визуелни преглед површине маказа са СЕМ/ЕДС анализом

Преглед површине маказа извршен је у области врха маказа, тј. у области деформације маказа, детаљ А слика 13.

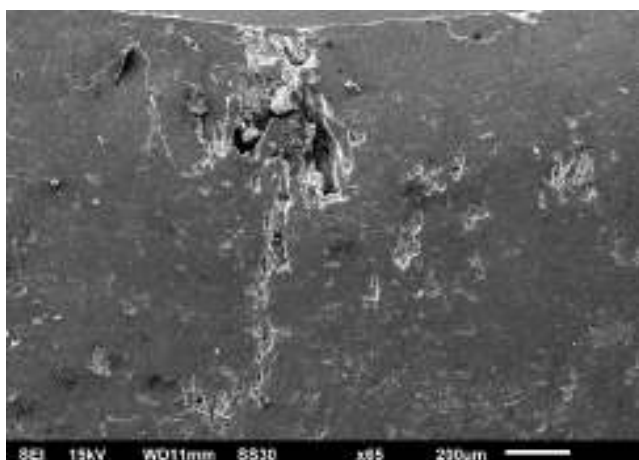
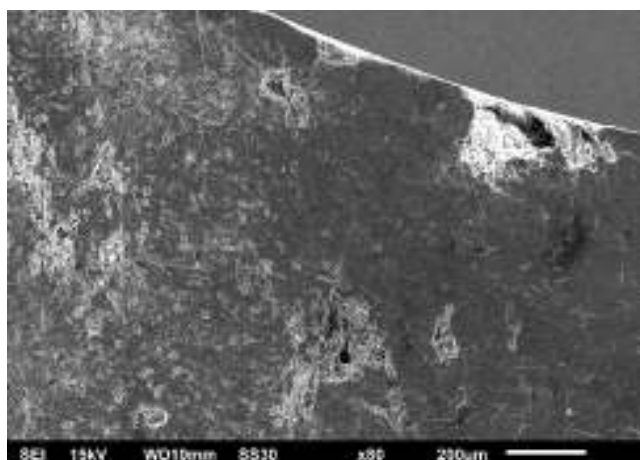
Прегледом спољашње површине маказа уочена су оштећења материјала (црвене стрелице), шупљине (црни кругови) и прслине које се простиру нормално у односу на оштећења материјала, слика 29.

На површини маказа, у области отвора за остваривање вијачне везе, уочене су шупљине и прслине које продиру у материјал, слика 30.



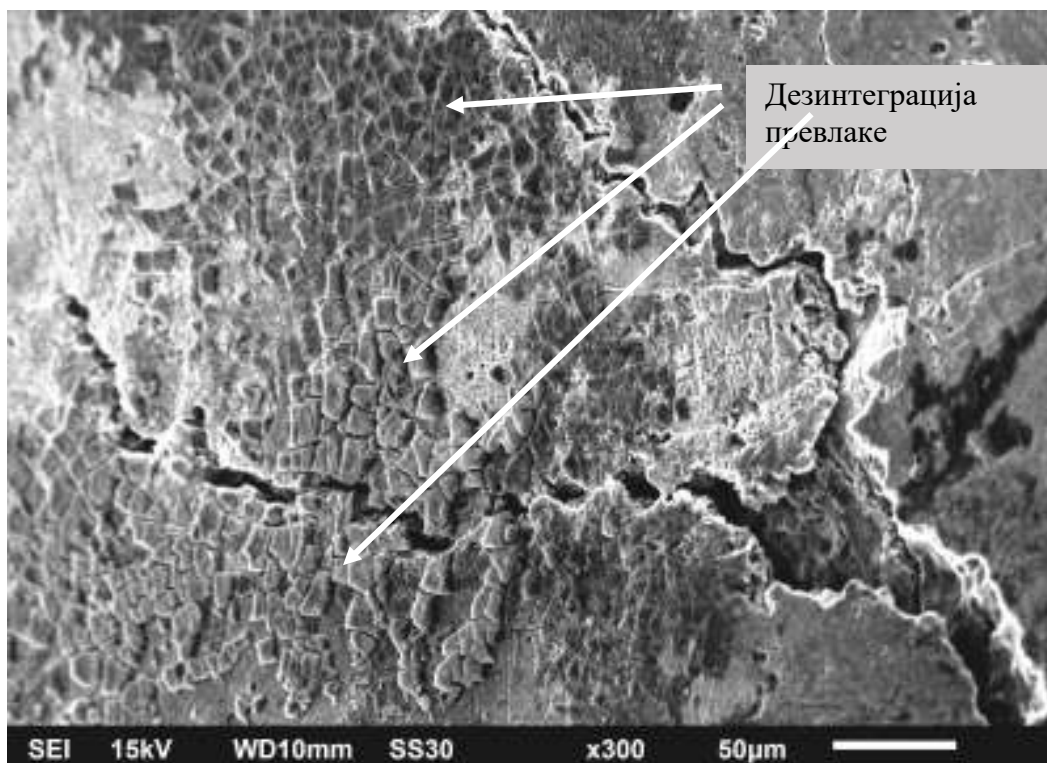


Слика 29. Изглед површине маказа са уоченим оштећењима, шупљинама и прслинама

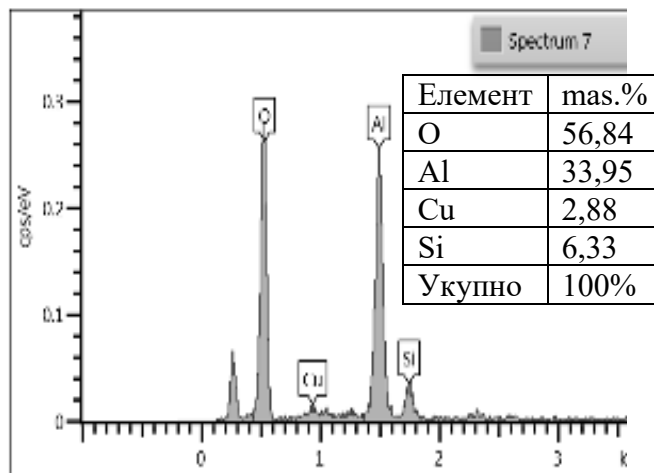
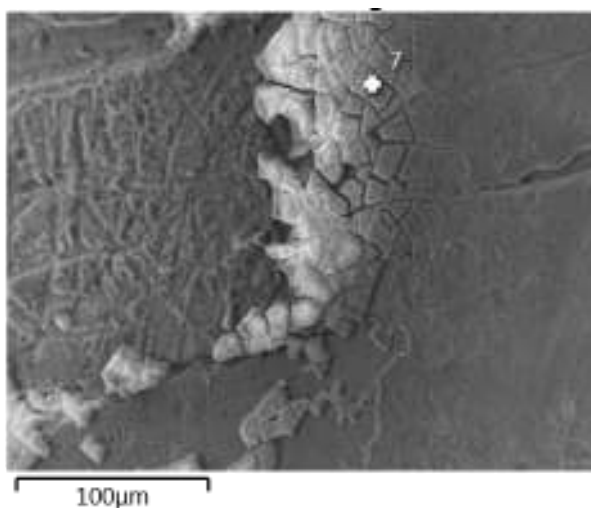


Слика 30. Шупљине и прслине у области отвора за остваривање вијачне везе

Макроскопским прегледом врха маказа, на стерео микроскопу, слике 13 и 15, уочена је деформација отвора за остваривање вијачне везе, слика 32.

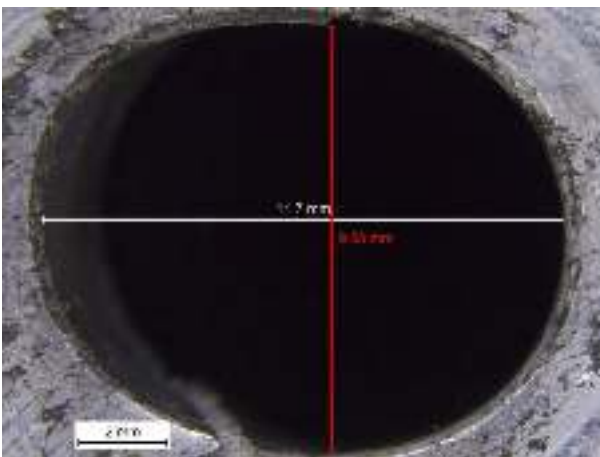


а) дезинтеграције заштитне превлаке

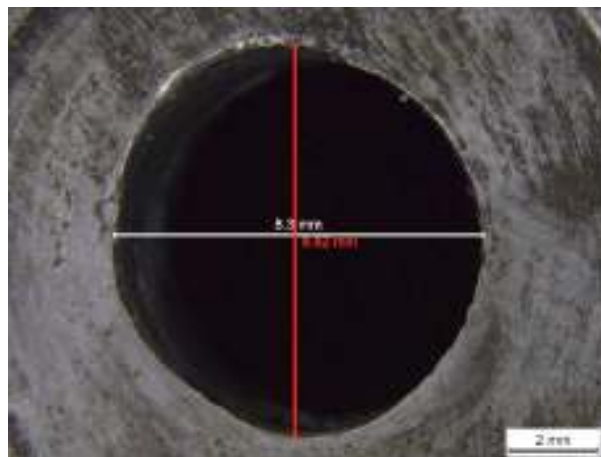


б) заштитна превлака - област СЕМ/ЕДС анализе (лево); одговарајући ЕДС спектар (десно)

Слика 31. а) дезинтеграција заштитне превлаке, б) ЕДС анализа заштитне превлаке



а) Отвор на маказама 1



б) Отвор на маказама 2

Слика 32. Деформација отвора на маказама за остваривање вијачне везе

Услед немогућности потпуног спајања преломних површина маказа 1, није могуће прецизно измерити пречник отвора на маказама 1, па су измерене вредности (слика 32а) информативног карактера. Поређењем пречника отвора на маказама 1 и 2, констатовано је да је на маказама 1 дошло до знатне деформације отвора.

Анализом спољашње површине маказа на СЕМ/ЕДС, уочена је дезинтеграција заштитне превлаке, слика 31а. ЕДС анализа превлаке показује присуство алуминијума, кисеоника, бакра и силицијума. Присуство алуминијума и кисеоника указује да је превлака типа Al_2O_3 , слика 31б, док бакар и силицијум потичу из основног материјала као легирајући елементи.

Хемијски састав маказа

Резултати испитивања хемијског састава маказа су приказани у табели 4.

Табела 4. Резултати испитивања хемијског састава алуминијумских маказа

Ознака узорка	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
маказе 1	0,79	0,20	4,08	0,66	0,52	0,02	0,10	0,021	93,58
маказе 2	0,80	0,20	4,05	0,65	0,53	0,02	0,10	0,02	93,61
EN AW-2014 према стандарду SRPS EN 573- 3	0,50- 1,2	max 0,7	3,9- 5,0	0,40- 1,2	0,20- 0,8	max 0,10	max 0,25	max 0,15	остатак

Хемијски састав маказа 1 и 2 одговара алуминијумској легури серије 2xxx ознаке EN AW-2014 према стандарду SRPS EN 573-3.

Тврдоћа маказа

Резултати мерења тврдоће маказа су приказани у табели 5.

Табела 5. Резултати мерења тврдоће алуминијумских маказа

Ознака узорка	Измерене вредности	Средња вредност
маказе 1	153; 154; 156; 157; 155	155 НВ
маказе 2	164; 162; 164; 162; 162	163 НВ

Добијене вредности тврдоће маказа су униформне.

Затезна својства маказа

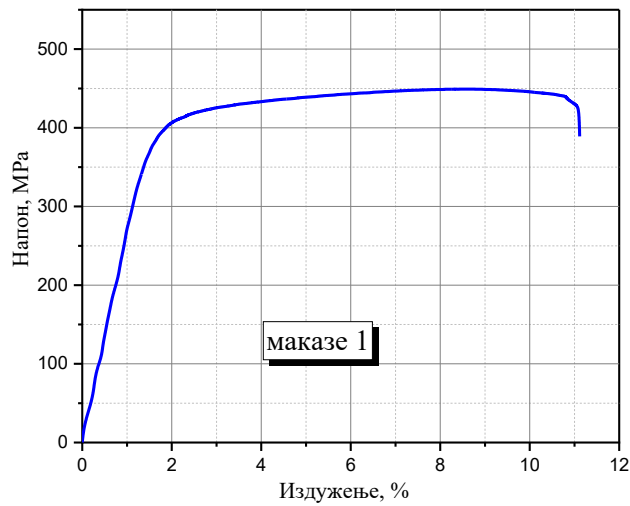
Резултати одређивања затезних својстава маказа 1 и 2 су дати у табели 6, док су на слици 33 приказани добијени дијаграми зависности напон-издужење за испитане епрувете.

Табела 6. Резултати одређивања затезних својстава

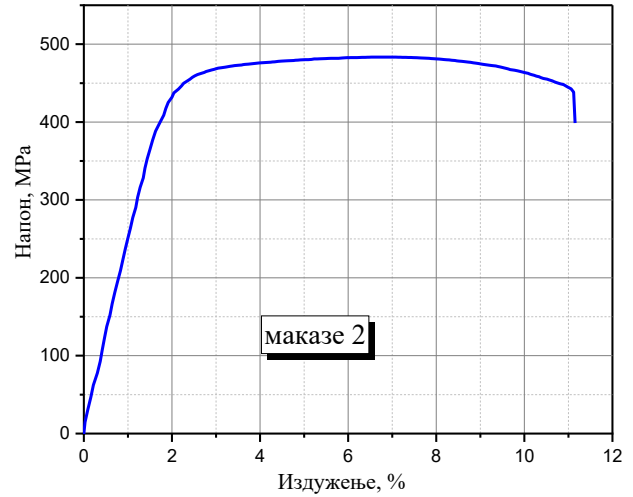
Ознака епрувете	$R_{p0.2}^{1)}$ [MPa]	R_m [MPa]	$A_r^{2)}$ [%]
Маказе 1	385	447	9,5
Маказе 2	442	483	9,3
Т6 стање (ковање у калупу) за EN AW-2014 према SRPS EN 586-2	min 380	min 440	min 6

¹⁾- оријентационе вредности

²⁾- мерено ручно



а)



б)

Слика 33. Дијаграми зависности напон-издужење

Анализом добијених резултата, уочено је да маказе 2 имају више вредности напона течења и затезне чврстоће у односу на маказе 1, на којима је настао лом, док су вредности издужења приближно једнаке.

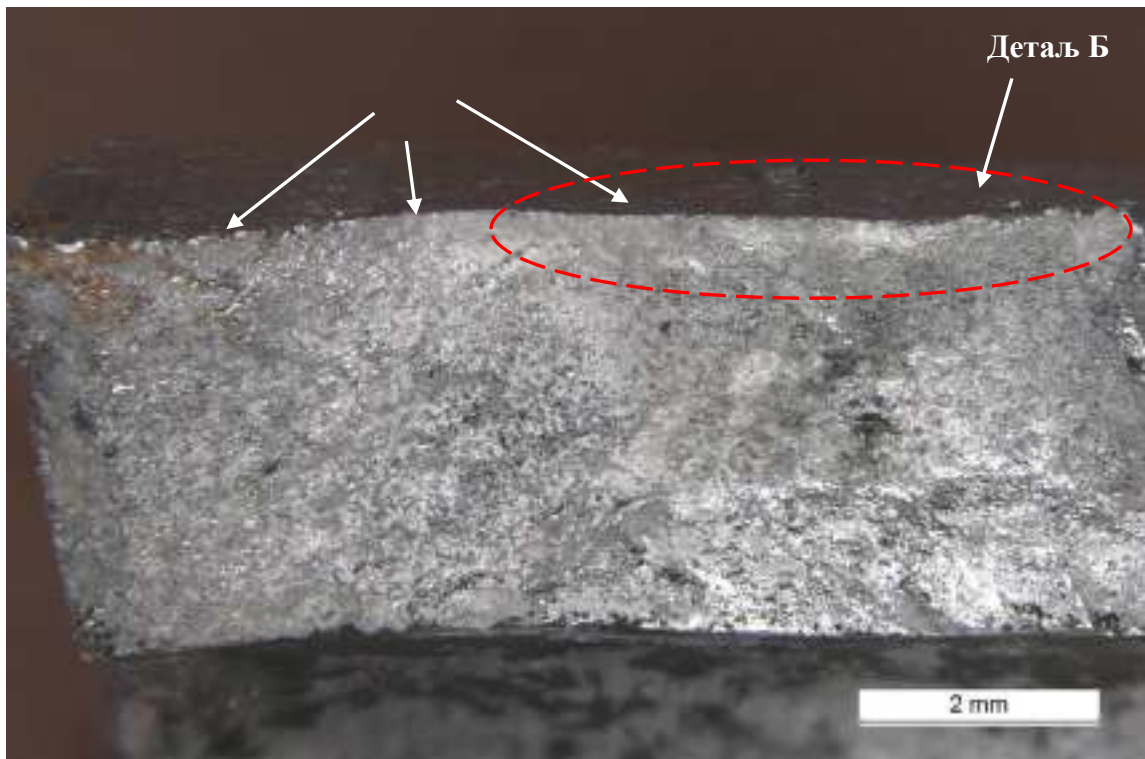
Макрофрактографска анализа преломне површине 1 маказа 1

Прегледом преломне површине 1 маказа 1, слика 34, на стерео микроскопу, констатовано је да је место настанка лома (МНЛ) на спољашњој површини маказа, слика 35.

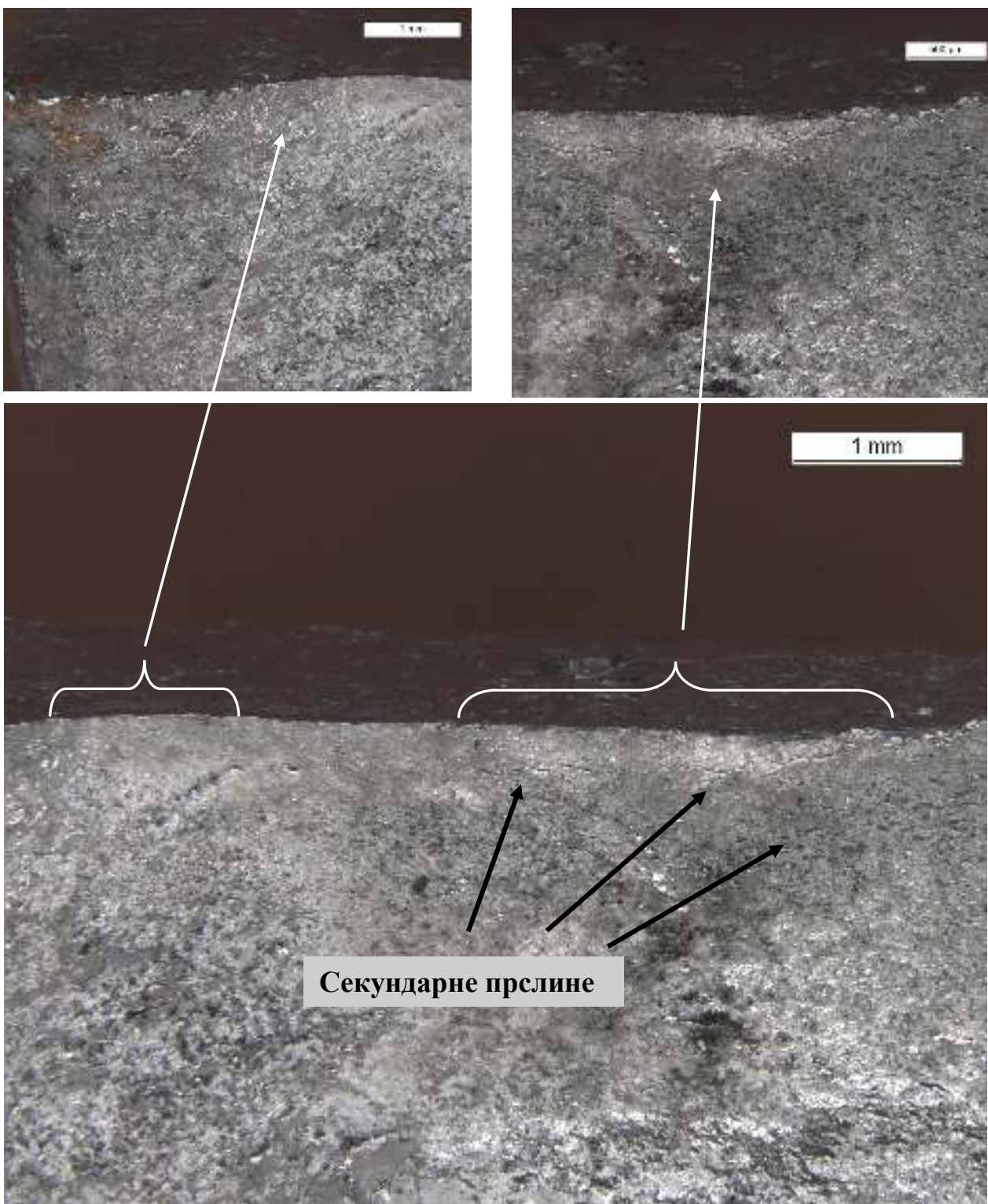
У близини места настанка лома уочене су секундарне прслине, слика 36, које су паралелне спољашњој површини маказа.



Слика 34. Изглед поломљеног врха маказа 1



Слика 35. Маказе 1 – пребомна површина 1 - Позиције МНЛ уз спољашњу ивицу



Слика 36. Детаљ Б са слике 23

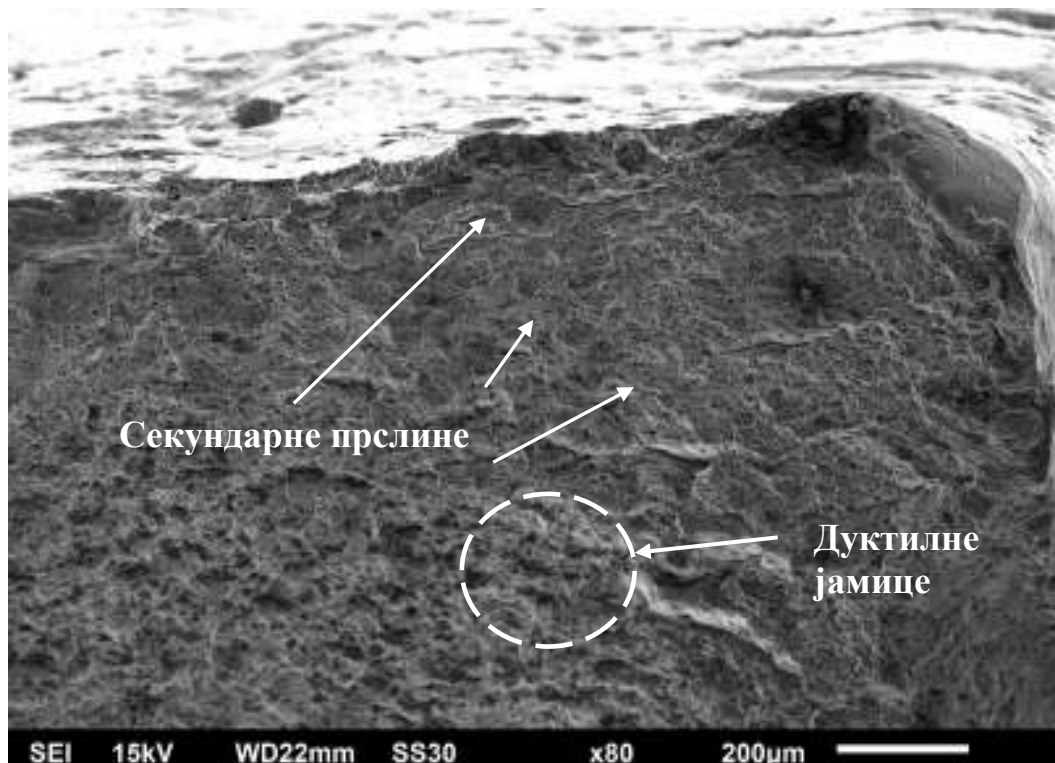
Микрофрактографска анализа преломне површине 1 маказа 1

Изглед преломне површине 1 на маказама 1, са местом настанка лома (МНЛ), приказан је на слици 37.

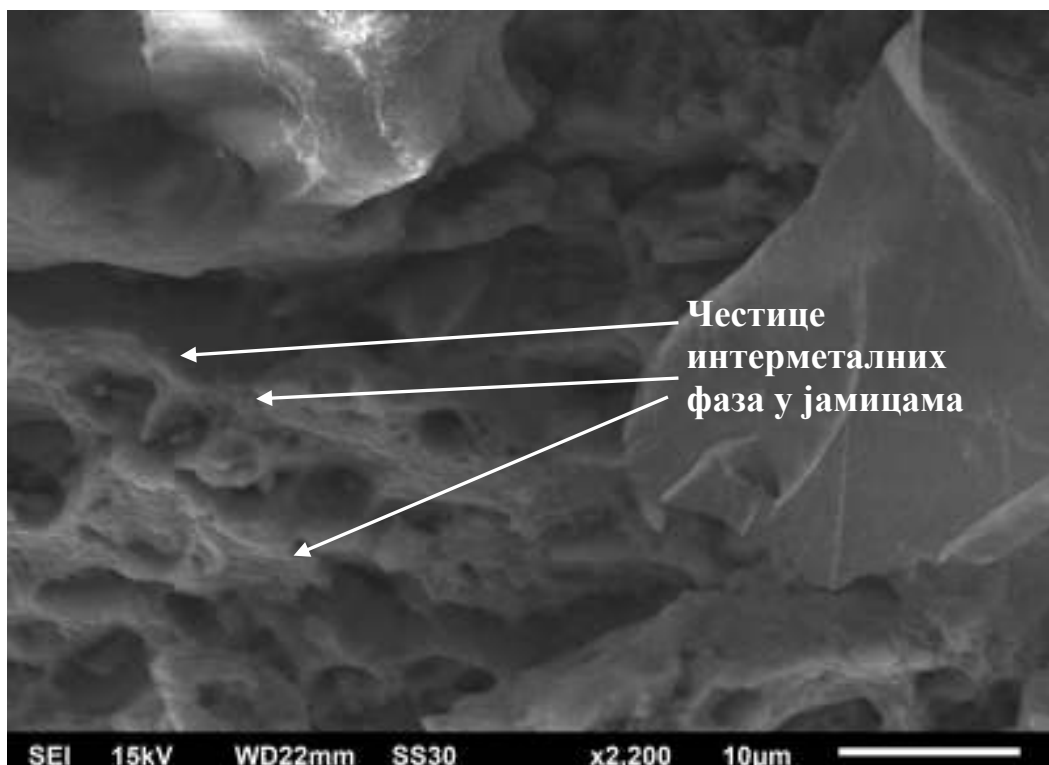


Слика 37. Изглед преломне површине 1 на маказама 1 код МНЛ

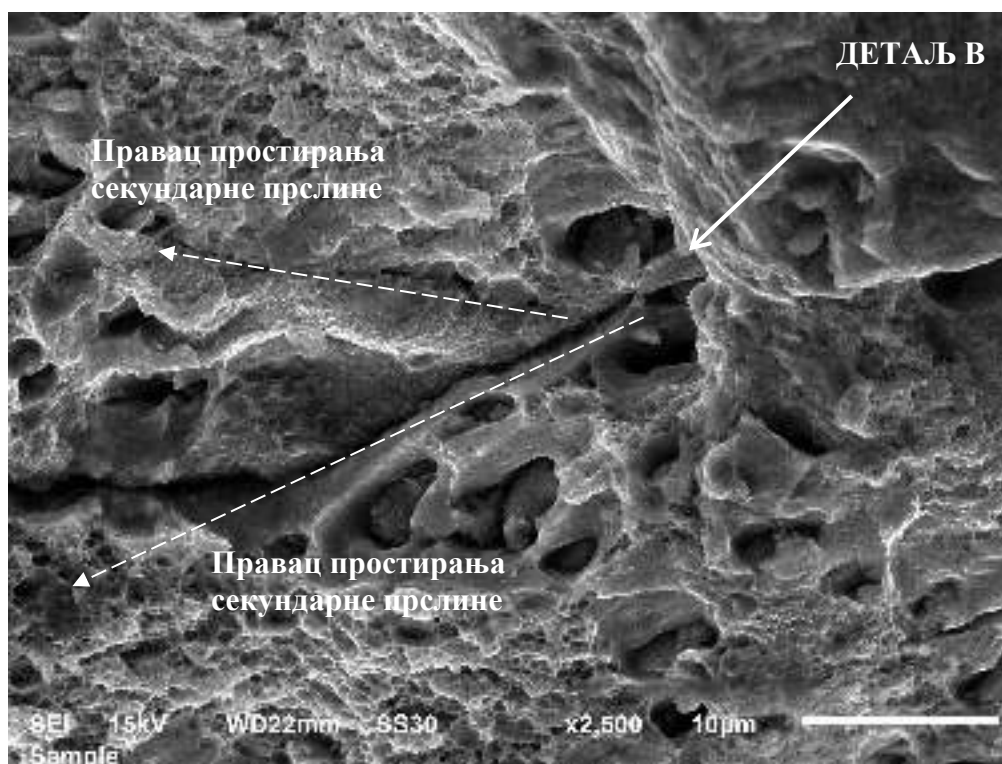
Микрофрактографским прегледом преломне површине 1, маказа број 1, на СЕМ-у, уочене су fine дуктилне јамице са честицама интерметалних фаза у њима, слике 38 и 39. Прегледом преломне површине у области МНЛ, слика 38, уочене су секундарне прслине. На основу СЕМ анализе, слика 39, претпоставља се да су секундарне прслине настале као последица лома честица интерметалних фаза. Простирање прслина настало је коалесценцијом дуктилних јамица, што указује на дуктилни карактер лома, слика 40.



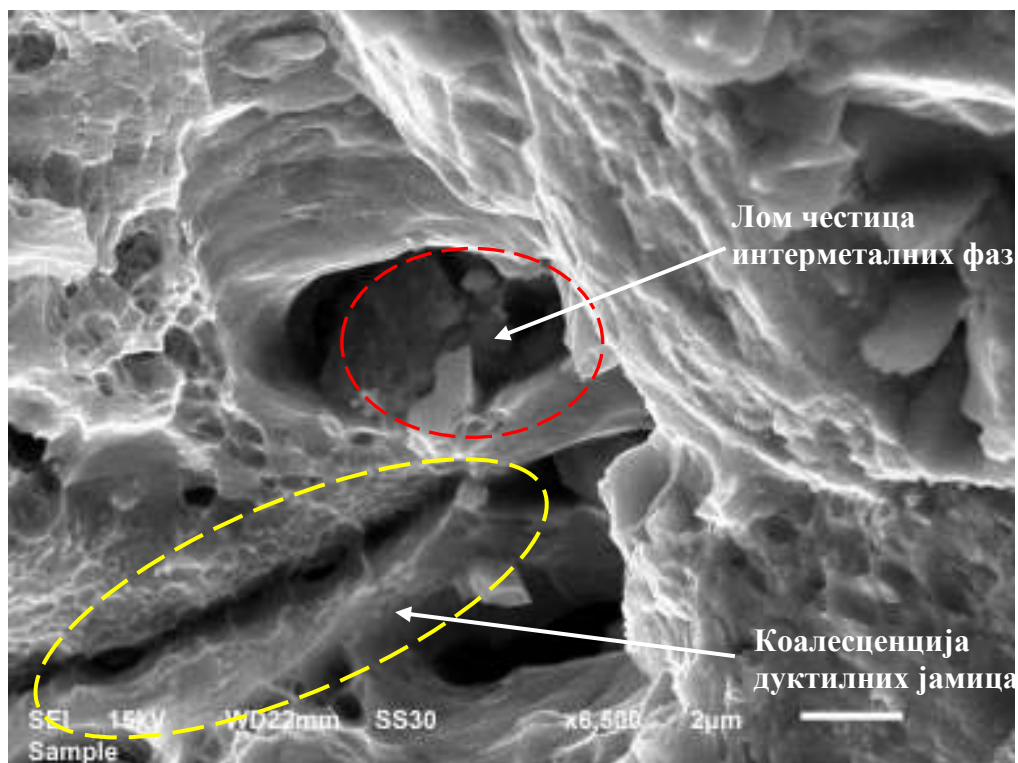
Слика 38. Изглед преломне површине 1 на маказама 1 са секундарним прслинама



Слика 39. Честице интерметалних фаза у дуктилним јамицама



а) лом честица секундарне фазе у дуктилним јамицама

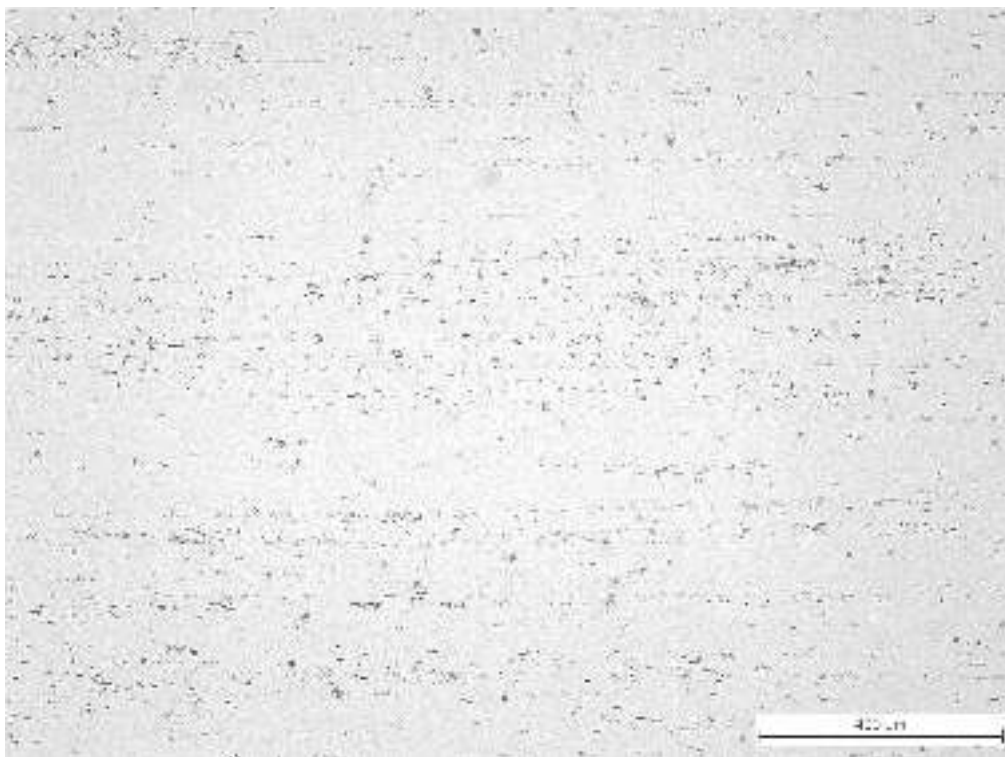


Детаљ В

Слика 40. а) Лом честица интерметалних фаза, б) детаљ г са слике 28а

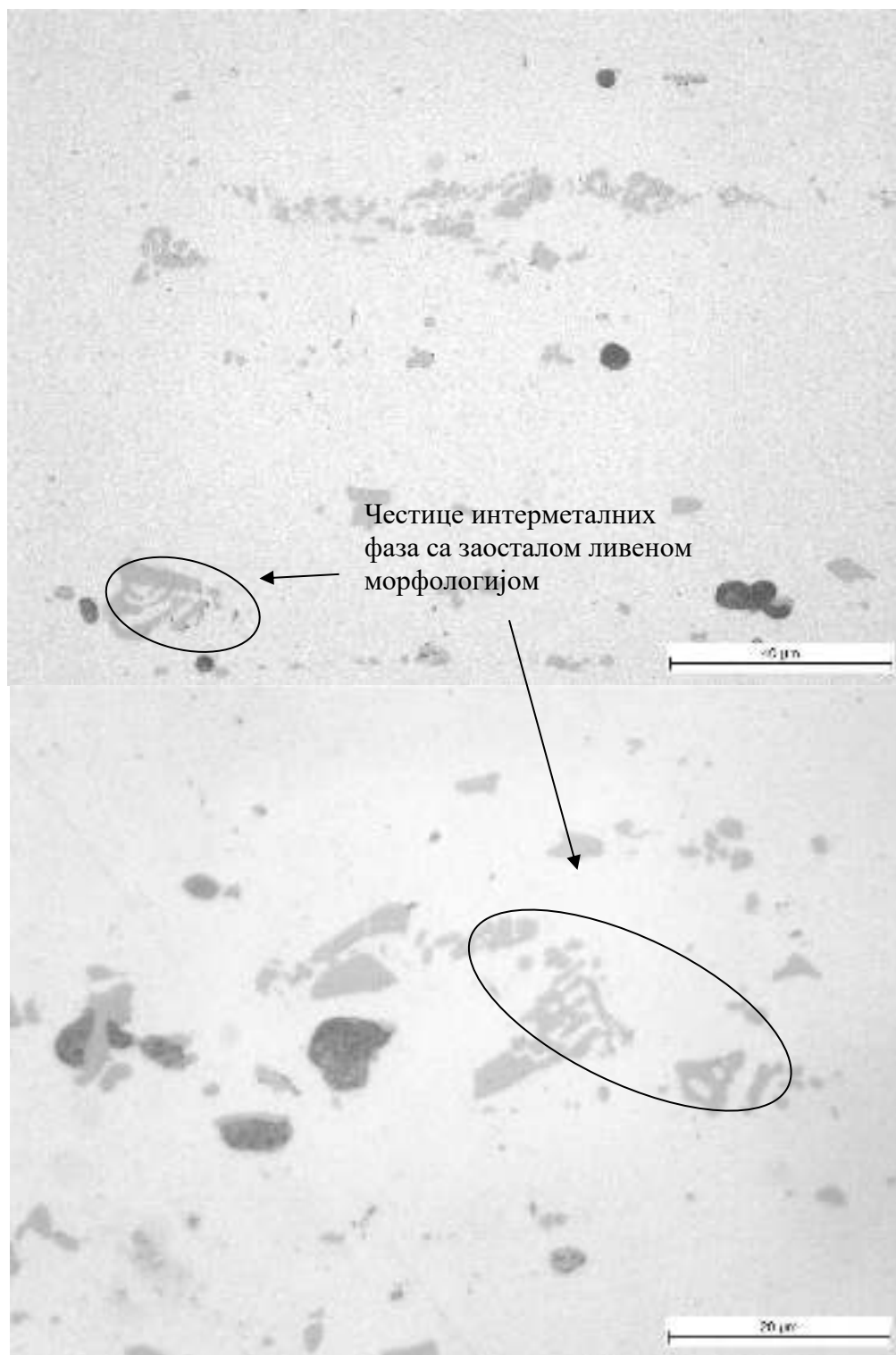
Микроструктурна анализа маказа 1

Микроструктурном анализом површине посматране у правцу нормалном на преломну површину 1 (маказе 1), уочена је нехомогена расподела честица интерметалних фаза у основи материјала, слика 41. Честице интерметалних фаза су издужене и усмерене, што упућује да одабрани металографски пресек, одговара уздужном правцу израде полазног материјала.

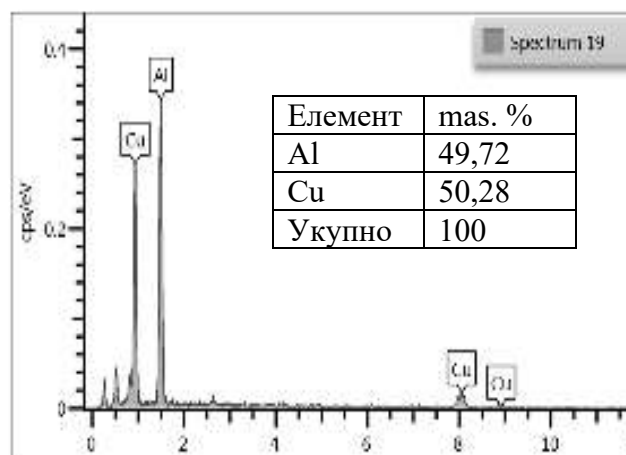
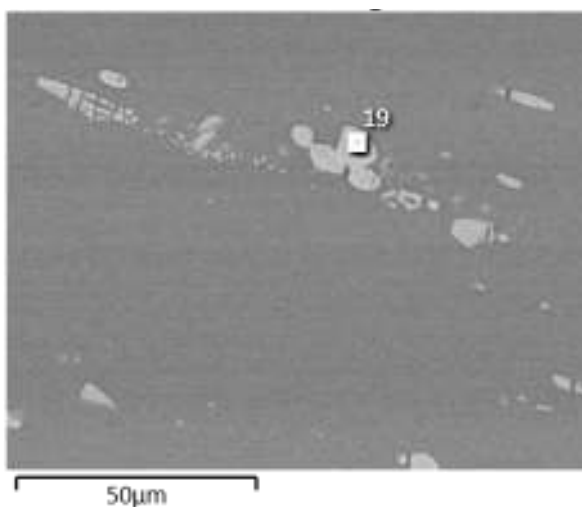


Слика 41: Микроструктура основног материјала маказа 1, полирано стање

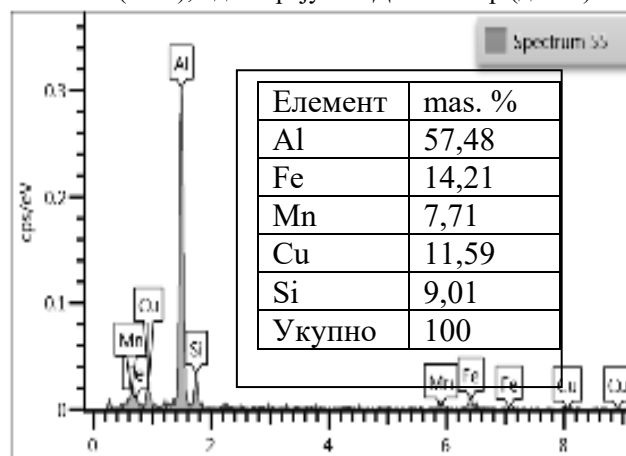
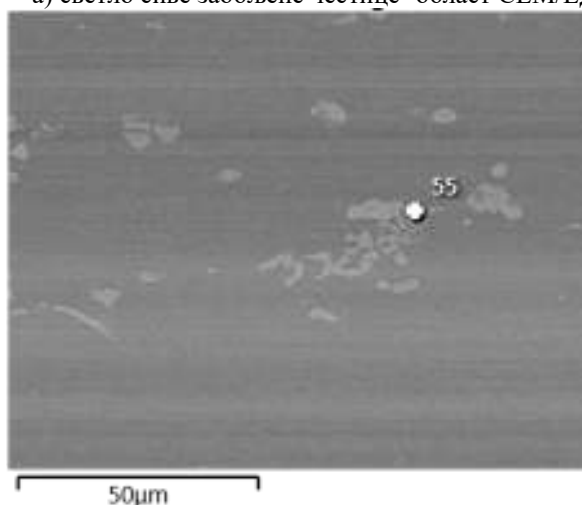
Анализом микроструктуре на већим повећањима, уочене су крупне честице интерметалних фаза са заосталом ливеном морфологијом, слика 42. Запажено је и присуство више честица различитог облика и контраста сиве боје, слика 42. СЕМ/ЕДС анализом честица констатовано је да светло сиве честице заобљених ивица, слика 43а припадају систему Al-Cu, сиве честице неправилног облика и оштрих ивица, слика 43б, припадају систему Al-Fe-Mn-Cu-Si, док тамно сиве честице, слика 43в, припадају систему Al-Mg-Cu-Si.



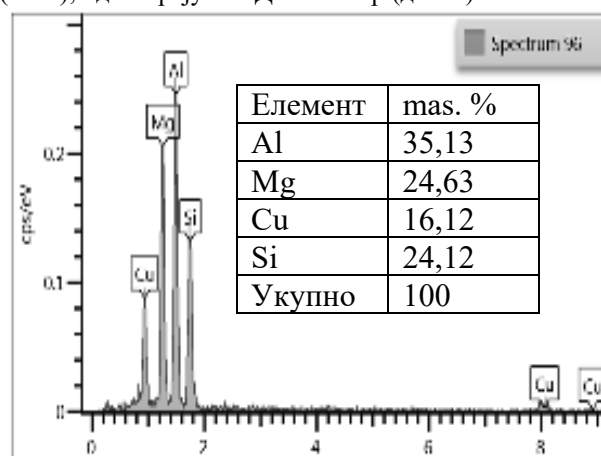
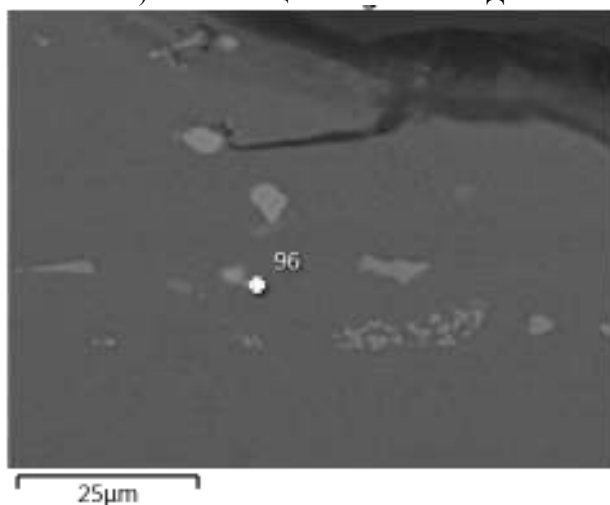
Слика 42: Честице интерметалних фаза са заосталом ливеном морфологијом



а) светло сиве заобљене честице- област СЕМ/ЕДС анализе (лево); одговарајући ЕДС спектар (десно)



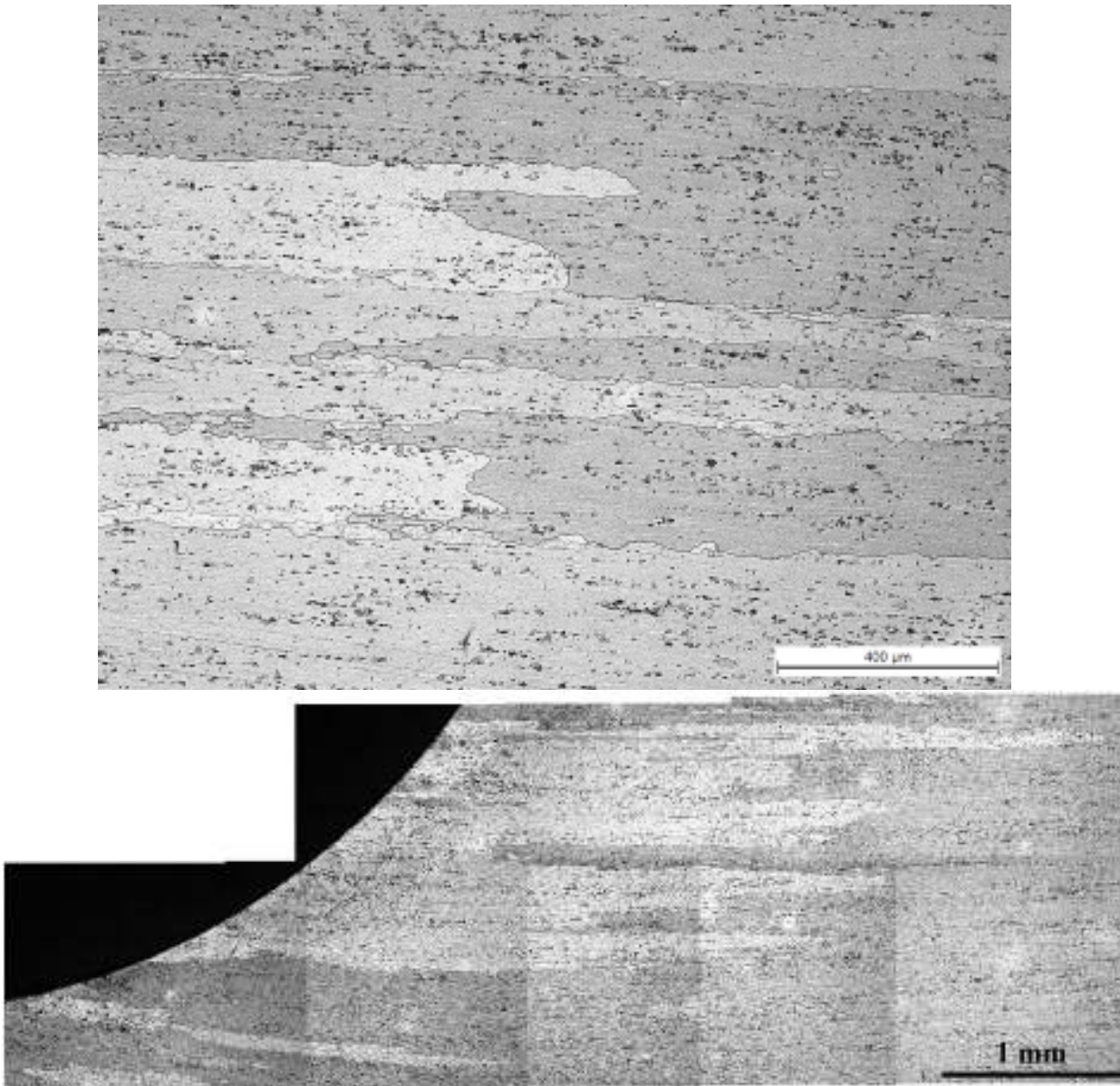
б) сиве честице - област СЕМ/ЕДС анализе (лево); одговарајући ЕДС спектар (десно)



в) тамно сиве честице - област СЕМ/ЕДС анализе (лево); одговарајући ЕДС спектар (десно)

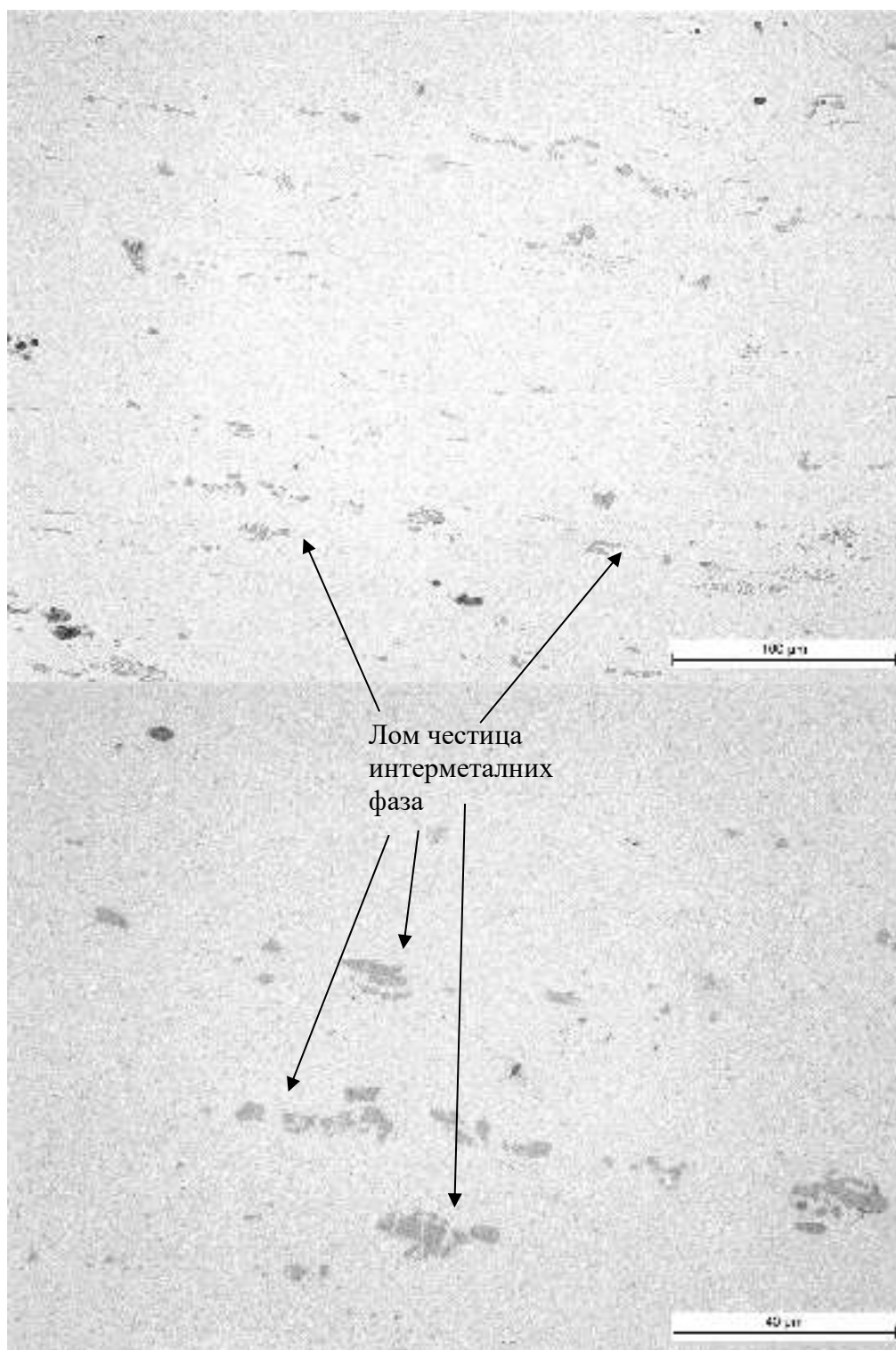
Слика 43: СЕМ/ЕДС анализа издвојених фаза у материјалу алуминијумских маказа

Анализом микроструктуре у нагриженом стању уочавају се издужена зрна која прате правац усмерености честица интерметалних фаза, слика 44.



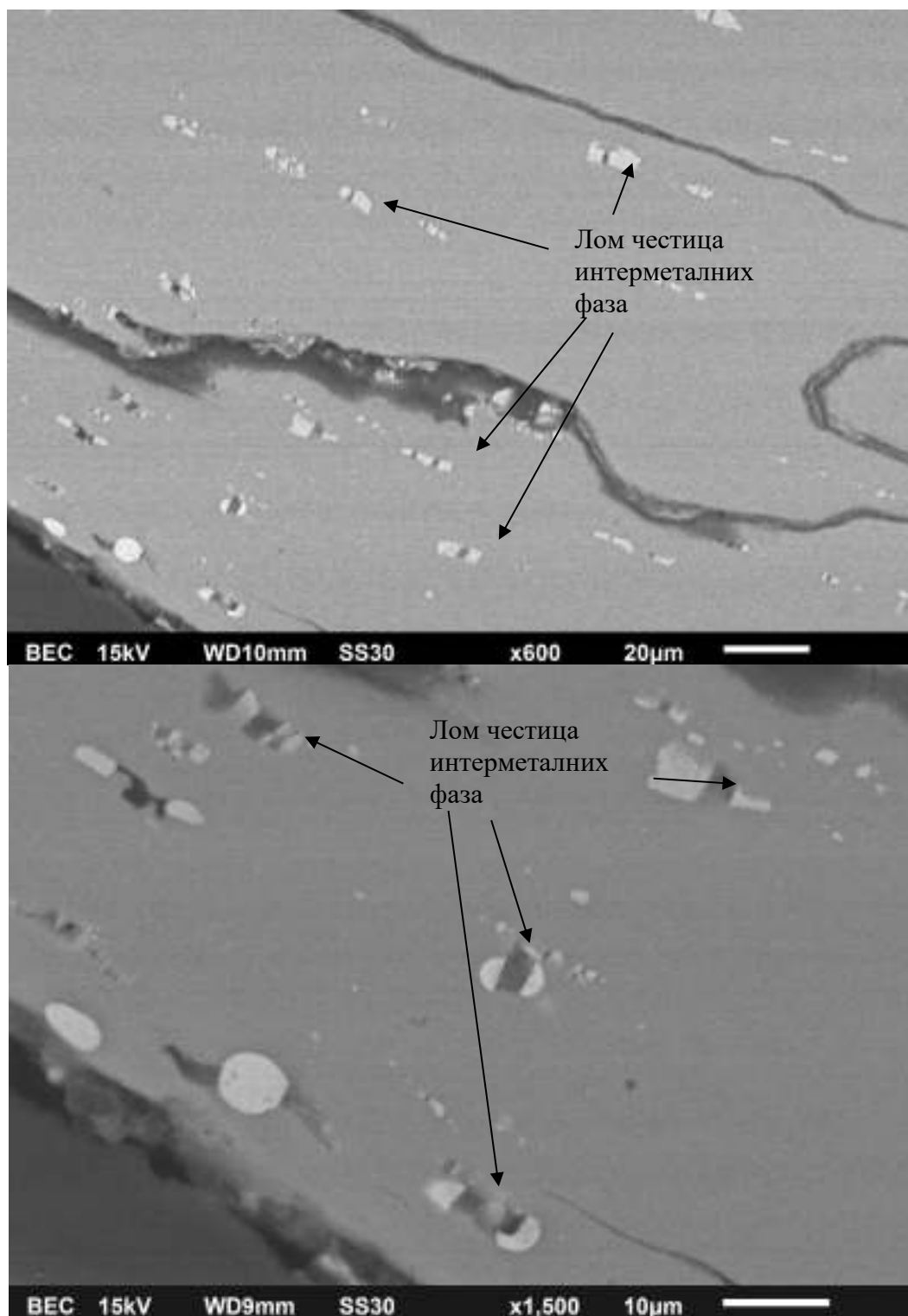
Слика 44. Микроструктура основног материјала маказа 1, нагрижено стање.

Поред уочене нехомогене расподеле честица интерметалних фаза, слика 41, и честица са заосталом ливеном морфологијом, слика 42, у микроструктури основног материјала у области преломне површине 1 уочен је и лом честица интерметалних фаза, слика 45 и 46. У области удаљеној од преломне површине 1 није уочен лом честица интерметалних фаза, слика 42.



Слика 45. Лом честица секундарних фаза у области уз преломну површину I, оптички микроскоп

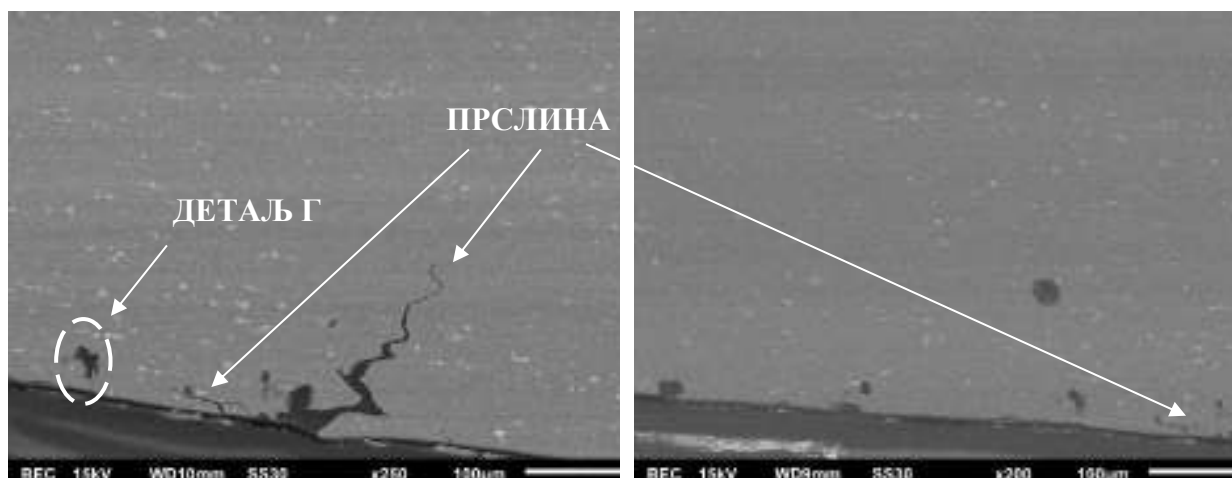
Лом честица интерметалних фаза упућује на присуство великих напрезања у материјалу. Лом ових честица уочен је у области где је уочена деформација врхова маказа, слика 13.



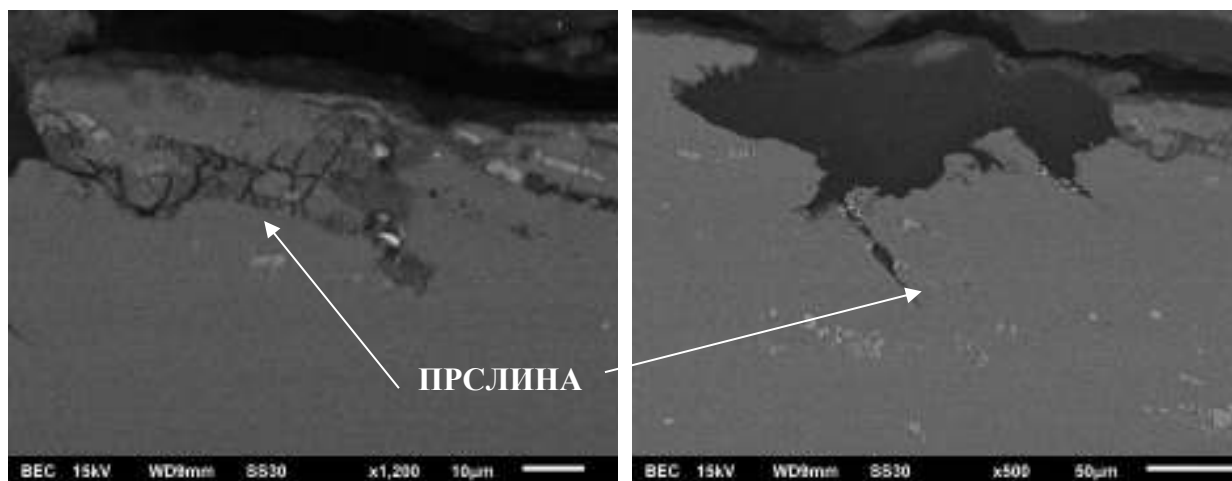
Слика 46. Лом честица интерметалних фаза у области преломне површине 1, скенирајући електронски микроскоп

Микроструктурном анализом на СЕМ-у, уочене су прслине на спољашњој површини, слика 47, али и на отвору за остваривање вијачне везе, слика 46. Уочене шупљине и прслине одговарају шупљинама и прслинама које су уочене приликом визуелног прегледа површине маказа, слика 29.

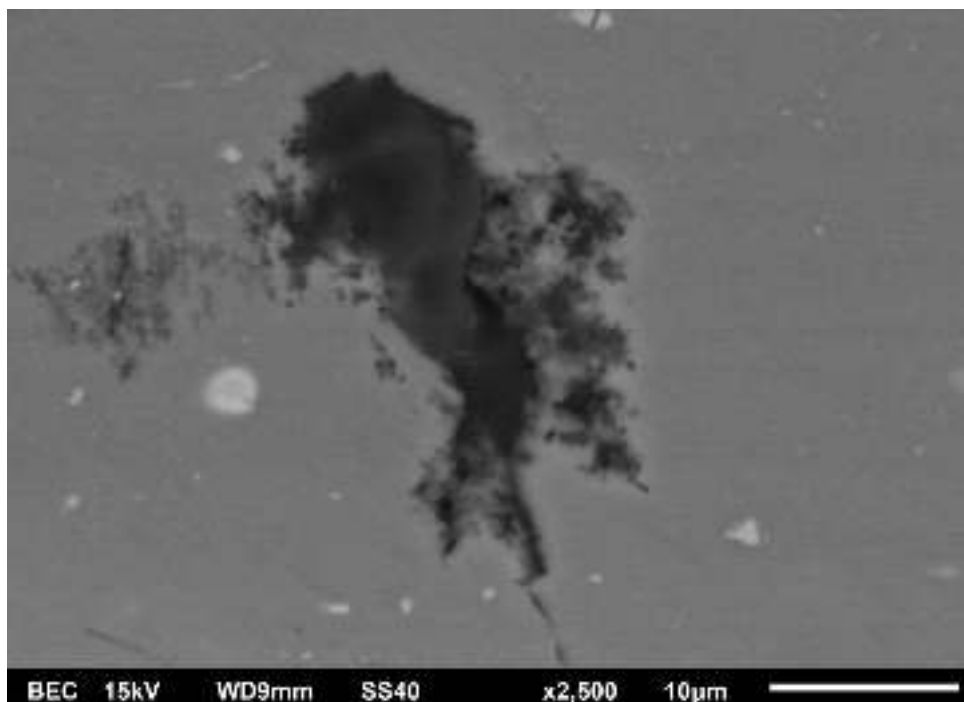
Уочене шупљине су неправилног облика, слика 49, и највероватније су настале услед питинг корозије маказа. Питинг корозија је вероватно настала као последица дезинтеграције заштитне превлаке, слика 32а, услед чега је основни материјал био изложен атмосферским условима.



Слика 47. Прслине на спољашњој површини узорка маказа 1



Слика 48. Прслине на отвору за остваривање вијачне везе



Слика 49. Детаљ Г са слике 47

АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА

Вијак

Изглед вијка (савијање тела вијка и сужење попречног пресека тела вијка) указују да је дошло до знатне деформације вијка. Укупна дужина деформисаног вијка износи ≈ 50 mm. На половини дужине тела, пречник вијка износи $\approx 5,95$ mm, док близу главе вијка износи $\approx 6,27$ mm.

На равној шестостраној глави вијка, уочене су ознаке: троугао са звездицом унутра и O/OD. Навој је пробушен за осигурање навртке расцепком. Према подацима из литературе за маркирање ваздухопловних вијака, троугао са звездицом унутра означава NAS close tolerance bolt. Троугао означава да је вијак са шестостраном главом машински обрађен за прецизно налагање, са димензијама према одговарајућем AN или NAS /NASM стандарду. Звезда означава да је израђен од легираног челика заштићеног од корозије превлаком кадмијума. За ознаку O/DO нема података, претпоставка је да је ознака произвођача.

У корену навоја, уочено је више прслина које се простиру радијално дуж осе завојнице навоја, које су потврђене и микроструктурном анализом. Такође, уочена је разлика у облику врха навоја вијка, тј. навој ближе телу вијка је трапезног облика, док је преостали део навоја конусног облика.

Хемијски састав вијка одговара материјалу ознаке AISI 8740 (40NiCrMo2-2) према стандарду AMS-S-6049 (Aerospace material specification).

Средња вредност тврдоће главе вијка износи 313 HV.

Измерене вредности микротврдоће немају већа одступања у уздужном пресеку вијка у зони навоја и у попречном пресеку тела вијка.

Резултати микротврдоће у области корена навоја немају одступања у добијеним вредностима, што указује да нема разугљеничења површинског слоја.

Микроструктура попречног пресека тела вијка уз ивицу узорка састоји се од ситнозрног отпуштеног мартензита и малог удела беинита, а микроструктура средине узорка тела и навоја вијка је отпуштени мартензит са малим уделом заосталог аустенита.

На основу резултата ЕДС анализе потврђено је постојање заштитног слоја кадмијума на местима близу корена навоја, док на површини врха навоја није пронађен. Кадмијумска превлака на површини врха навоја је, претпоставља се, оштећена приликом експлоатације вијка.

Маказе

Визуелним прегледом достављеног узорка констатован је лом врха маказа број 1, слика 13. Уочен је прелом на два места, слика 15.

Анализом хемијског састава маказа, утврђено је да су израђене од алуминијумске легуре EN AW-2014.

Средње вредности тврдоћа маказа број 1 и број 2 су уједначене, 155 HB и 163 HB респективно (табела 5).

На основу извршених испитивања (визуелни преглед – слика 1, микроструктурна испитивања – слике 41 и 44) претпоставља се да је део израђен ковањем. Епрувете за затезна испитивања узоркована су у правцу који благо одступа од L правца (уздужни правац), слика 1-жуте испрекидане линије. У складу са захтевима стандарда SRPS EN 586-2:2008 (Алуминијум и легуре алуминијума - Отковци – Део 2: Механичке особине и додатни захтеви за особине), оба испитана узорка задовољавају минимално прописане вредности границе течења, затезне чврстоће и издужења за отковке машински коване у калупу (DIE FORGINGS) у стању Т6.

С обзиром на то да техничка документација није достављена, није позната технологија израде маказа и прописано термичко стање материјала, не може се утврдити да ли хемијски састав, тврдоћа и затезне карактеристике материјала испуњавају прописане захтеве. Макрофрактографским прегледом преломних површина, установљено је да је место настанка лома на спољашњој површини маказа, слике 35 - 37. Анализом преломне површине на скенирајућем електронском микроскопу, уочене су дуктилне јамице унутар којих се уочавају преломљене честице интерметалних фаза. Анализом на СЕМ-у уочен је механизам пропагације прелина коалесценцијом дуктилних јамица, слика 40, чиме је потврђен дуктилни карактер лома.

Микроструктурном анализом основног материјала маказа, у полираном стању, уочене су усмерене и издужене честице интерметалних фаза у правцу деформације материјала, слика 41. Уочено је присуство 3 типа честица, светло сиве честице заобљених ивица из система Al-Cu, сиве честице неправилног облика из система Al-Fe-Mn-Cu-Si и тамно сиве честице из система Al-Mg-Cu-Si, слика 31. Анализом микроструктуре у нагриженом стању, уочена је крупнозрна и усмерена структура у правцу деформације материјала, слика 44.

Лом честица интерметалних фаза уочен је у зони непосредно уз преломну површину маказа 1, слике 45 и 46. Лом честица упућује на присуство великих напрезања у материјалу која су довела до лома честица.

Анализом површине маказа уочене су прслине и шупљине у материјалу, трагови машинске обраде као и дезинтеграција превлаке. Присуство шупљина и прслина је потврђено и микроструктурном анализом на СЕМ-у у области спољашње и унутрашње ивице узорка, слике 47 и 48. Уочене шупљине су неправилног облика из којих се простиру прслине, што указује да су уочене шупљине вероватно настале као последица питинг корозије основног материјала, слике 48 и 49.

Напомена: Тачке 3,4,5 извештаја ће бити објављене након прикупљених коментара на извештај релевантних земаља укључених у процес истраге а у складу са међународним стандардима и прописима.

3. ЗАКЉУЧЦИ

3.1. Налази

3.2. Узроци озбиљне незгоде

3.2.1. Непосредни узоци озбиљне незгоде

3.2.2. Посредни узроци удеса

4. БЕЗБЕДНОСНЕ ПРЕПОРУКЕ

--

5. ПРИЛОГ