

Ane Lodgaard og Vetle Mide Meling

Overflatebehandling av aluminiumslegering og kompatibilitet med hydrogenperoksid for romapplikasjoner

Surface Treatment of Aluminium Alloy and Compatibility with Hydrogen Peroxide for Space Applications

Bacheloroppgave i Kjemiingeniør

Interne veiledere: Ina Merete Stuen og Gerhard H. Olsen

Ekstern veileder: Olav Sulen

Gradering: Åpen

Prosjektnummer: IMA-B-11-2022

Oppdragsgiver: Nammo Raufoss AS

Mai 2022



NTNU

Institutt for materialteknologi

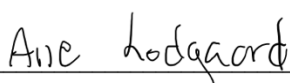
Forord

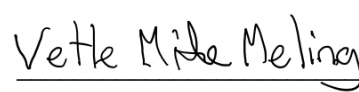
I samarbeid med Nammo Raufoss AS og NTNU beskriver denne rapporten arbeidet utført i forbindelse med vår bacheloroppgave ved Institutt for materialteknologi, NTNU Trondheim. Formålet med oppgaven er å se på hvilken overflatebehandling som er mest mulig kompatibel med drivstoffløsningen hydrogenperoksid for en drivstoffbeholder av aluminiumslegeringen 6082-T6 innen romapplikasjoner, som Nammo har fått i oppdrag i å utvikle for European Space Agency (ESA).

Vi var så heldige med å få en læringsfull, spennende og ikke minst krevende oppgave innenfor romfartsindustrien. Temaet er helt nytt for begge studentene, men har bidratt til en veldig læringsfull oppgave og gitt oss en unik erfaring. Vi har fått bruk for tidligere erfaringer fra laboriearbeid som vi har opparbeidet gjennom de tre årene på NTNU. Vi har også blitt kjent med mange nye instrumenter og metoder fra fagområdet materialteknologi. Det var en praktisk oppgave som ble tildelt, med mange spennende og lærerike timer på laboriet, som har ført til en eksperimentell bacheloroppgave.

Vi vil benytte anledningen til å takke alle involverte fra Nammo Raufoss AS, spesielt vår veileder Olav Sulen, for tiden og energien brukt til å finne en nyttig problemstilling passende som en bacheloroppgave, i tillegg til all nyttig hjelp de har gitt oss på veien. Samtidig vil vi også takke veilederne våre fra NTNU, Ina Merete Stuen og Gerhard H. Olsen, for svært god oppfølging, tilbakemeldinger og refleksjoner underveis i prosessen med vår bacheloroppgave.

Ikke minst vil vi takke laborieansvarlige, Liv Anita Nonstad og Andrey Kosinskiy, for deres hjelp og opplæring på de forskjellige laboriene. Til slutt vil vi også vise vår takknemmelighet til andre medstudenter, foresatte, og ansatte på NTNU for delt kunnskap og erfaringer.


Ane Lodgaard


Vetle Mide Meling

Sammendrag

Nammo har fått en kontrakt som innebærer utvikling av styresystemet Roll and Attitude Control System (RACS) for bæreraketten VEGA-E til European Space Agency (ESA). Styresystemets drivstoffbeholder er av aluminium med legeringen 6082-T6, hvor kravet fra ESA er at hverken beholderen eller drivstoffet skal dekomponeres vesentlig det første året. Hensikten med denne bacheloroppgaven er å muliggjøre endring fra dagens drivstoffløsning hydrazin, til bruk av en mer miljøvennlig løsning – hydrogenperoksid. Denne bacheloroppgaven er med på å bidra til å svare på følgende problemstilling: *Hvilken overflatebehandling gjør aluminium med legering 6082-T6 mest mulig kompatibel med hydrogenperoksid for romapplikasjoner?* For å besvare denne problemstillingen var det også et sentralt tema å se på hvordan klassifisere kvaliteten av et passiviseringssjikt.

Anodisering med svovelsyre, kjemisk passivisering med salpetersyre og sitronsyre, var passiviseringsmetodene utført på aluminium med legering 6082-T6 i laboratoriet. Disse metodene ble optimalisert ved endring av parameterne som konsentrasjon, tid og spenning. For å måle kompatibiliteten ble prøvene lagt i en løsning med hydrogenperoksid (30%). Instrumenter som Scanning Electron Microscope (SEM), Cross-hatch Cutter og Vickers hardhetstest er benyttet for å analysere sjiktets overflate og egenskaper.

Kjemisk passivisering med salpetersyre (33%) i 24 timer og anodisering med svovelsyre (1 M) med spenning 21,4 V i 2 timer, var to metoder som ga gode indikasjoner til et godt sjikt, ut ifra forsøkene som ble utført. For begge metodene ble pickling med natriumhydroksid (0,5%) i 20 minutter anvendt. Ut ifra ikke destruktiv testene (NDT) og destruktiv testene (DT) ser Cross-hatch Cutter ut som den best egnede testen for å kvalifisere kvaliteten av sjiktet. Disse metodene anbefales for Nammo som et utgangspunkt for videre arbeid med å utvikle endelig passiviseringsmetode for RACS.

Abstract

Nammo has been given a contract involving the development of the Roll and Attitude Control System (RACS) for the VEGA-E launch vehicle to the European Space Agency (ESA). The control system's fuel tank is made of aluminum with the alloy 6082-T6, where the requirement from ESA is that neither the tank nor the fuel must be decomposed significantly in the first year. The purpose of this bachelor's thesis is to enable change from the current fuel solution hydrazine, to the use of a more environmentally friendly solution - hydrogen peroxide. This bachelor's thesis helps to answer the following question: *Which surface treatment makes aluminum with alloy 6082-T6 as compatible as possible with hydrogen peroxide for space applications?* To answer this question, it was also a key topic to look at how to classify the quality of a passivation layer.

The passivation methods were performed on aluminum with alloy 6082-T6 in the laboratory was Anodizing with sulfuric acid, and chemical passivation with nitric acid and citric acid. These methods were optimized by changing the parameters such as concentration, time and voltage. To measure compatibility, the samples were placed in a solution of hydrogen peroxide (30%). Instruments such as Scanning Electron Microscope (SEM), Cross-hatch Cutter and Vickers hardness test are used to analyze the surface and properties of the layer.

Chemical passivation with nitric acid (33%) for 24 hours and anodization with sulfuric acid (1 M) with a voltage of 21.4 V for 2 hours were two methods that gave good indications of a good layer, based on the experiments that were performed. For both methods, pickling with sodium hydroxide (0.5%) for 20 minutes was used. Based on the non-destructive test (NDT) and destructive tests (DT), the Cross-hatch Cutter looks like the most suitable test to qualify the quality of the layer. These methods are recommended for Nammo as a starting point for further work on developing a final passivation method for RACS.

Innholdsfortegnelse

Forord	1
Sammendrag	2
Abstract	3
Figurliste	8
Tabelliste	12
1. Innledning	14
1.1 Bakgrunn	14
1.2 Problemstilling.....	14
2. Teori	16
2.1 Fremstilling av aluminium, dens egenskaper og ulike legeringer	16
2.1.1 Aluminiumlegering.....	17
2.2 Oppbygging og dekomponering av hydrogenperoksid.....	19
2.3 Kompatibilitet mellom aluminium og hydrogenperoksid.....	21
2.4 Forberedelse av aluminium legering 6082-T6 prøver før passivisering.....	24
2.4.1 Ultralyd til fjerning av forurensing.....	24
2.4.2 Oppløsning av aluminiumoksid ved pickling.....	24
2.5 Passivisering av aluminium	25
2.5.1 Kjemisk passivisering av aluminium.....	26
2.5.2 Anodisering og hard anodisering av aluminium	27
2.6 Ikke-destruktiv test (NDT)	28
2.6.1 Scanning Electron Microscope (SEM)	29
2.7 Destruktiv test (DT).....	31
2.7.1 Cross-hatch Cutter for klassifisering av sjikt	31
2.7.2 Kvalitetsmåling av sjikt med Vickers hardhetstest.....	32
3. Material og metode	34
3.1 Materialer og utstyr	34
3.2 Metode.....	35
3.2.1 Passivisering av aluminium med legering 6082-T6	35
3.2.1.1 Vasking, avfetting og pickling av aluminium med legering 6082-T6	36

3.2.1.2 Passivisering med salpetersyre	36
3.2.1.4 Passivering med sitronsyre	37
3.2.1.3 Anodisering med svovelsyre	38
3.2.2 Destruktiv og ikke-destruktiv testmetoder	38
3.2.2.1 Kompatibilitetstest med hydrogenperoksid og passiviserte aluminium med legering 6082-T6.....	38
3.2.2.2 SEM (JCM-6000, JEOL) og lysmikroskop (Elipse MA 200, Nikon)	39
3.2.2.3 Cross-hatch Cutter (1542 Adhesion Truster, Elcometer)	40
3.2.2.4 Vickers hardhetsmåler (Duramin-40 AC1, Struers)	40
4. Resultat	41
4.1 Passiveringsmetoder utført på aluminium med legering 6082-T6	41
4.1.1 Passivering med salpetersyre	41
4.1.2 Passivering med sitronsyre	43
4.1.3 Anodisering med svovelsyre	43
4.2 Destruktive og ikke-destruktive tester	46
4.2.4 Kompatibilitet med hydrogenperoksid og passivisert aluminium med legering 6082-T6	46
4.2.1 SEM og lysmikroskop	48
4.2.2 Cross-hatch Cutter testmetode	51
4.2.3 Vickers hardhetstest	53
5. Diskusjon	55
5.1 Passivisering med salpetersyre som passiveringsmetode på aluminium med legering 6082-T6 .	55
5.2 Passivisering med sitronsyre som passiveringsmetode på aluminium med legering 6082-T6.....	57
5.3 Anodisering med svovelsyre som passiveringsmetode på aluminium med legering 6082-T6	58
5.4 Kompatibilitet test med hydrogenperoksid og aluminium med legering 6082-T6	60
5.5 Cross-hatch Cutter som DT metode for kvalitetssikre passiveringssjikt	62
5.6 Vickers hardhetstest som kvalitetsmåling for sjikt.....	63
5.7 Sammenligning av de ulike passiveringsmetodene.....	64
5.8 Anbefalinger til videre arbeid.....	65
5.8.1 Passiveringsmetoder	65
5.8.3 Destruktive og ikke-destruktive tester.....	66
6. Konklusjon	67
Referanseliste	69
Vedleggsliste	72

A Beregninger	I
B SEM bilder for ulike passiveringsmetoder	II
C Lysmikroskopbilder	VIII
D Klassifiserings guide for Cross-hatch Cutter	XVIII
E Vickers hardhetstest	XIX
F Risikovurdering	LXIII

Figurliste

Figur 1: Figuren viser en illustrasjon av RACS-systemet til Nammo.....	15
Figur 2: Figuren er en forenklet illustrasjon av produksjonen av aluminium (Pedersen, 2022).	17
Figur 3: Figuren viser sammensetningen av hydrogenperoksid. (Woodard & Curran, 2006a)	19
Figur 4: Figuren er en illustrasjon av hydrogenperoksid brukt som oksidasjonsmiddel.(Woodard & Curran, 2006a).....	20
Figur 5: Figuren beskriver hvordan kavitasjon og implosjon oppstår fra ultralydbølger i en væske.(Fuchs, 1995b).....	24
Figur 6: Figuren viser oppsettet til elektrolyse med aluminium som anode og en kullelektrode som katode. (Kamp et al., 2015)	28
Figur 7: Figuren viser en illustrasjon av oppbygning til en vanlig SEM. (Zhou et al., 2006)	29
Figur 8: Figuren viser ulike signaler fra SEM, og områder disse analyserer. (Zhou et al., 2006) ..	30
Figur 9: Figuren viser en illustrasjon av skjæringsmønsteret for Cross-Hatch Cutter.	32
Figur 10: Figuren viser en illustrasjon av Vickers hardhetsmåling. Indenten lager inntrykk i prøven som vist i (a), mens (b) viser inntrykket sett ovenfra med mål på diagonalene.(S. Kaan Gurel, 2019).....	32
Figur 11: Figuren viser oppsats av prøvene ved vasking, pickling og passivering.	36
Figur 12: Figur (a) viser passivering med 33% salpetersyre med kobbertråd til opphenging, mens (b) viser oppløsningen av disse trådene.....	41
Figur 13: Figuren viser passivering av prøve 1 og prøve 9 med salpetersyre.....	42
Figur 14: Figuren er et bilde av krystalldannelse på aluminiumsfolien etter passivering med salpetersyre.....	42
Figur 15: Figuren viser visuelt resultat av kjemisk passivering med salpetersyre på prøve 6 og prøve 1.....	43
Figur 16: Figur (a) viser resultat fra prøve 4 ved passivering med sitronsyre, (b) og (c) viser resultat fra prøve 3 og 2.....	43
Figur 17: Figuren viser bilde av (a) anodiseringsprosessen til prøve 1 og (b) resultatbilde av prøven.....	44
Figur 18: Figuren viser bilde av (a) fargen på løsningen etter anodisering av prøve 2, og (b) bilde av ferdig resultat av prøven.....	44
Figur 19: Figuren viser bilde av (a) anodiseringsprosessen av prøve 3, og (b) er bilde av ferdig resultat prøven.....	45
Figur 20: Figuren viser bilde av (a) anodiseringsprosessen av prøve 4, og (b) er bilde av ferdig anodisert prøve 4.....	45

Figur 21: Figuren viser bilde av (a) hard anodiseringsprosessen til prøve 5, og (b) er bilde av samme prøve, ferdig anodisert.	46
Figur 22: Figuren viser hydrogenperoksid tilsatt til prøve 1 passivisert med salpetersyre.	47
Figur 23: Figuren viser visuelt gassdannelse fra anodiseringsprøve 4 og 5 tilsatt hydrogenperoksid.	47
Figur 24: Figuren viser en kobberbit tilsatt hydrogenperoksid for å observere grad av gassdannelse.	47
Figur 25: Figur (a) og (b) viser SEM bilde fra henholdsvis prøve 6 og 1 fra passivering med salpetersyre.	49
Figur 26: Figuren viser SEM bilde av prøve 2 ved passivering med sitronsyre.	49
Figur 27: Figur (a) viser bilde av prøve 2 med SEM, (b) viser bilde fra prøve 4, og (c) viser SEM bilde av prøve 5, alle anodisert med svovelsyre.	50
Figur 28: Figuren viser lysmikroskopbilde av tverrsnitt av prøve sendt av Nammo passivisert med salpetersyre.	50
Figur 29: Figuren viser bilder fra lysmikroskop av utført Cross-hatch Cutter test på prøve 1 (a), 4 (b) og 7 (c), passivisert med salpetersyre.	51
Figur 30: Figuren viser lysmikroskopbilder etter Cross-hatch Cutter test på anodiseringsprøve 1(a) og 4(b).	51
Figur 31: Figuren viser lysmikroskopbilder etter Cross-hatch Cutter test på prøve 1 (a) og 2 (b), passivisert med salpetersyre, etter kontakt med hydrogenperoksid.	52
Figur 32: Figuren viser lysmikroskopbilder etter utført Vickers hardhetsmåling av prøve 1 (a) og 2 (b), passivisert med salpetersyre.	54
Figur 33: Figuren viser bilde fra SEM av prøve 2 passivert med salpetersyre.	II
Figur 34: Figuren viser bilde fra SEM av prøve 3 passivert med salpetersyre.	II
Figur 35: Figuren viser bilde fra SEM av prøve 7 passivert med salpetersyre.	III
Figur 36: Figuren viser bilde fra SEM av prøve 8 passivert med salpetersyre.	III
Figur 37: Figuren viser bilde fra SEM av prøve 9 passivert med salpetersyre.	IV
Figur 38: Figuren viser bilde fra SEM av ferdig passivert prøve sendt av Nammo.	IV
Figur 39: Figuren viser bilde fra SEM av en slipt og upassivert prøve.	V
Figur 40: Figuren viser bilde fra SEM av en rensset og picklet upassivert prøve.	V
Figur 41: Figuren viser bilde fra SEM av prøve 3 passivert med sitronsyre.	VI
Figur 42: Figuren viser bilde fra SEM av prøve 4 passivert med sitronsyre.	VI
Figur 43: Figuren viser bilde fra SEM av prøve 1 passivert med anodisering.	VII
Figur 44: Figuren viser bilde fra SEM av prøve 3 passivert med anodisering.	VII

Figur 45: Figuren viser lysmikroskopbilde av prøve 2 passivert med salpetersyre etter utført Cross-hatch Cutter test.	VIII
Figur 46: Figuren viser lysmikroskopbilde av prøve 3 passivert med salpetersyre etter utført Cross-hatch Cutter test.	VIII
Figur 47: Figuren viser lysmikroskopbilde av prøve 5 passivert med salpetersyre etter utført Cross-hatch Cutter test.	IX
Figur 48: Figuren viser lysmikroskopbilde av prøve 6 passivert med salpetersyre etter utført Cross-hatch Cutter test.	IX
Figur 49: Figuren viser lysmikroskopbilde av prøve 8 passivert med salpetersyre etter utført Cross-hatch Cutter test.	X
Figur 50: Figuren viser lysmikroskopbilde av prøve 9 passivert med salpetersyre etter utført Cross-hatch Cutter test.	X
Figur 51: Figuren viser lysmikroskopbilde av prøve 2 passivert med anodisering etter utført Cross-hatch Cutter test.	XI
Figur 52: Figuren viser lysmikroskopbilde av prøve 3 passivert med anodisering etter utført Cross-hatch Cutter test.	XI
Figur 53: Figuren viser lysmikroskopbilde av prøve 5 passivert med anodisering etter utført Cross-hatch Cutter test.	XII
Figur 54: Figuren viser lysmikroskopbilde etter utført Cross-hatch Cutter på prøve 3 passivert med salpetersyre etter kontakt med hydrogenperoksid.	XII
Figur 55: Figuren viser lysmikroskopbilde etter utført Cross-hatch Cutter på prøve 9 passivert med salpetersyre etter kontakt med hydrogenperoksid.	XIII
Figur 56: Figuren viser lysmikroskopbilde av upassivert prøve etter test med Vickers hardhetsmåler.	XIII
Figur 57: Figuren viser lysmikroskopbilde av prøve 3 passivert med salpetersyre etter test med Vickers hardhetsmåler.	XIV
Figur 58: Figuren viser lysmikroskopbilde av prøve 4 passivert med salpetersyre etter test med Vickers hardhetsmåler.	XIV
Figur 59: Figuren viser lysmikroskopbilde av prøve 5 passivert med salpetersyre etter test med Vickers hardhetsmåler.	XV
Figur 60: Figuren viser lysmikroskopbilde av prøve 6 passivert med salpetersyre etter test med Vickers hardhetsmåler.	XV
Figur 61: Figuren viser lysmikroskopbilde av prøve 7 passivert med salpetersyre etter test med Vickers hardhetsmåler.	XVI

Figur 62: Figuren viser lysmikroskopbilde av prøve 8 passivert med salpetersyre etter test med Vickers hardhetsmåler.XVI

Figur 63: Figuren viser lysmikroskopbilde av prøve 9 passivert med salpetersyre etter test med Vickers hardhetsmåler.XVII

Tabelliste

Tabell 1: Tabellen viser noen av egenskapene til rent aluminium.(Vargel, 2020).....	16
Tabell 2: Tabellen er en oversikt over hovedlegeringene og deres elementer.	18
Tabell 3: Tabellen viser et eksempel på sammensetningen av aluminiumslegering 6082.(AZO, 2005).....	19
Tabell 4: Tabellen inneholder dekomponeringen i prosent per tid til hydrogenperoksid ved ulike temperaturer (Davis et al., 2005).	21
Tabell 5: Tabellen er en oversikt over strekkstyrke, kompatibilitet med hydrogenperoksid, og varmebehandling på ulike legeringer. (NASA, 2004).....	22
Tabell 6: Tabellen viser klassifisering, effekt på hydrogenperoksid, stabilitet, og effekt på materialet for ulike passiveringer av 6061 aluminiumslegering.	23
Tabell 7: Tabellen er en oversikt over kjemikalier og materialer brukt i forsøkene.	34
Tabell 8: Tabellen er en oversikt over utstyret som ble brukt til forsøkene.	35
Tabell 9: Tabellen er en oversikt over konsentrasjonen, temperaturen og tiden for hvert passiveringsforsøk med salpetersyre og natriumhydroksid som pickling middel.	37
Tabell 10: Tabellen viser konsentrasjonen og tiden for hvert passiveringsforsøk med sitronsyre..	37
Tabell 11: Tabellen viser en oversikt over konsentrasjon, temperatur, tid, og spenning for hvert passiveringsforsøk med svovelsyre.	38
Tabell 12: Tabellen viser hvilke prøver som ble testet mot hydrogenperoksid.....	39
Tabell 13: Tabellen viser fremgangsmåte for polering av prøvene.....	39
Tabell 14: Tabellen viser prøvene som ble testet med Cross-hatch Cutter.	40
Tabell 15: Tabellen er en oversikt over sjiktdannelse, overflatesjikt og farge på elektrolytten etter utført anodisering på aluminium med legering 6082.	46
Tabell 16: Tabellen inneholder målt masse av prøvene fra kompatibilitetstesten før tilsatt, etter testen, differansen mellom disse, og etter vasking av de ferdig testede prøvene.	48
Tabell 17: Tabellen viser klassifisering av resultater etter Cross-hatch Cutter på prøver passivisert med salpetersyre, både før og etter kontakt med hydrogenperoksid, og anodiserte prøver med svovelsyre. Ved bruk av vedlegg C.	53
Tabell 18: Tabellen viser gjennomsnittsmålingene gjort på Vickers hardhetsmåler for prøvene 1, 3, 5, 6 og 9 passivisert med salpetersyre.	54

1. Innledning

1.1 Bakgrunn

Mennesket har fra langt bak i tiden vært nysgjerrige på verdensrommet. Utviklingen innen romfartsindustrien har vært rask de siste tiårene, fra den første satellitten ble sendt ut i 1957, til de i dag planlegger å sende mennesker til planeten Mars. Romvirksomhet blir stadig mer aktuelt i samfunnet, med bruk av satellitter til navigasjon, telekommunikasjon og klima- og jordobservasjoner. Det er allerede et stort antall satellitter i bane rundt jorda, og med den raske teknologiske utviklingen i verden, vil antallet mest sannsynligvis øke betraktelig. Det er derfor i dag et viktig tema å utvikle romvirksomhet på en bærekraftig måte, slik som fokuset er for teknologiutvikling ellers i verden.

Oppgaven er gitt av Nammo Raufoss AS, som har sin utviklingsavdeling lokalisert på Raufoss, og er et internasjonalt romfart- og forsvarsselskap. Nammo skal utvikle den neste generasjonen av styringssystemet RACS for ESA sin bærerakett VEGA-E – se Figur 1. RACS-systemet er et styringssystem, som skal posisjonere bæreraketten i en svært nøyaktig i bane rundt jorda. Dette er viktig for satellitter som skal sendes opp i verdensrommet. Eksisterende styringssystem er med bruk av det lite miljøvennlige drivstoffet hydrazin og for neste generasjon av bæreraketten er målet bruk av et mer miljøvennlig drivstoff. RACS-systemet skal bruke hydrogenperoksid som drivstoff, og vil bidra positivt på miljøet siden den avgir rent utslipp som inneholder vanndamp og oksygen. Drivstoffbeholderen i systemet består av aluminium med legering 6082-T6. Aluminium er et materiale som brukes på grunn av produktgenskaper som høy styrke i forhold til sin lave vekt. Lav vekt er svært viktig for å minimere mengden med drivstoff som trengs under oppskytingen av satellitten. Derfor er aluminium et ønsket materiale å benytte.

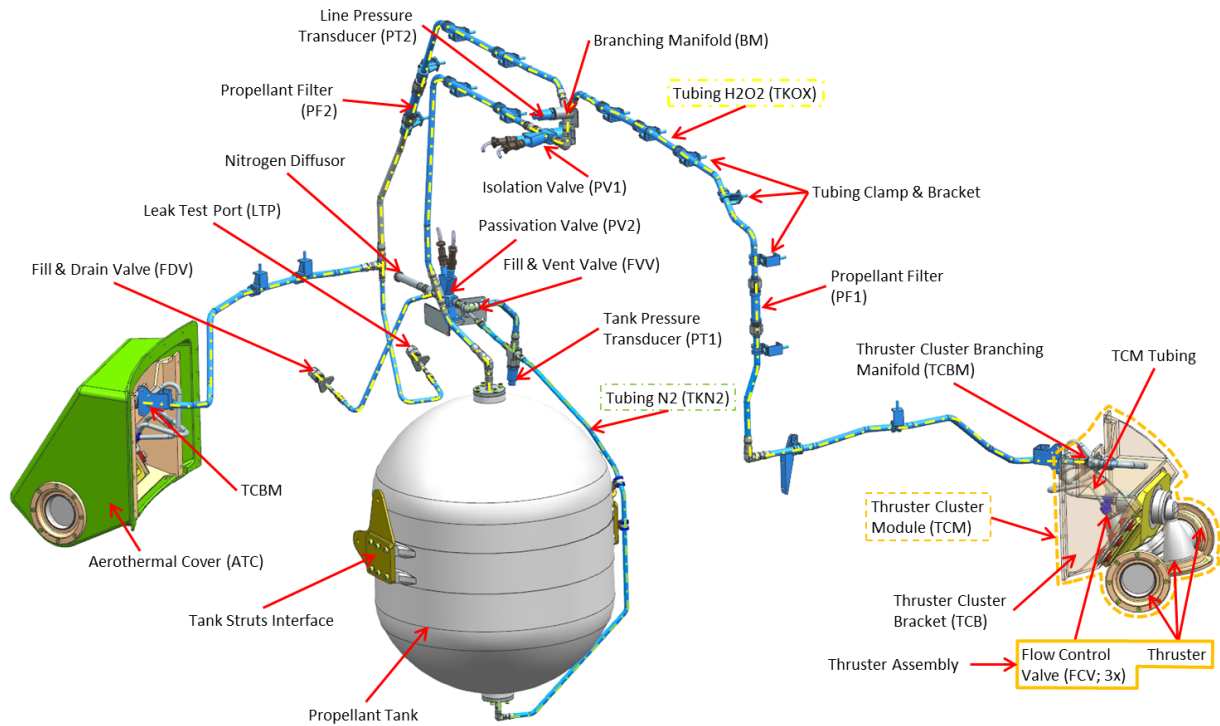
1.2 Problemstilling

Ut ifra dette er følgende problemstilling definert:

Hvilken overflatebehandling gjør aluminium med legering 6082-T6 mest mulig kompatibel med hydrogenperoksid for romapplikasjoner? For å kunne besvare problemstillingen er det også nødvendig å identifisere en tilfredsstillende metode for måling av kvaliteten på sjiktet.

ESA har satt et krav om at komponentene og medium skal kunne være i kontakt med hverandre opptil ett år med minst mulig dekomponering. For Nammo betyr dette at når de skal utvikle sitt RACS-system, må drivstoffbeholderen som er i aluminium med legering 6082-T6 lages med et

beskyttelsessjikt for å oppfylle sine krav i forbindelse med dekomponering. Oppgaven fra Nammo var derfor å forsøke å finne en overflatebehandling som gir dette beskyttelsessjiktet for aluminium med legering 6082-T6, for å kunne bidra til en mest mulig kompatibelhet med hydrogenperoksid.



Figur 1: Figuren viser en illustrasjon av RACS-systemet til Nammo.

2. Teori

I dette kapittelet presenteres teorien som er nødvendig for å forstå vår problemstilling og diskutere vårt resultat.

2.1 Fremstilling av aluminium, dens egenskaper og ulike legeringer

Aluminium er et grunnstoff og et metall med en sølvhvit farge. Produktegenskapene med høy duktilitet og et høyt vekt/styrke forhold, gjør dette materialet gunstig spesielt for bruksområder hvor vekt, styrke og formbarhet er viktig. Viktige bruksområder er innen transport og kommunikasjonsmidler, bygningsindustrien og emballasje for matindustrien. For disse industriområdene har aluminium tatt gradvis over store deler av stålets bruksområde på grunn av sine gunstige Produktegenskaper og da spesielt for sitt relative høye vekt/styrke forhold som har bidratt til lettere produkter sammenlignet med produkter av stål. Aluminium er også i økende grad brukt innen romfartsindustrien, siden vekt spiller også her en stor rolle. Tabell 1 viser noen av egenskapene til rent aluminium (Vargel, 2020)

Tabell 1: Tabellen viser noen av egenskapene til rent aluminium. (Vargel, 2020)

Egenskaper	Verdi
Atomnummer	13
Tetthet [kg/m ³]	2,698
Smeltepunkt [°C]	660,45
Kokepunkt [°C]	2,056
Varmeledningsevne [W/m°C]	235
Termisk ekspansjon [mm/m°C]	0,023
E-modul [GPa]	70

Bauxitt er en heterogen aluminiumsmalm, som består av mineraler som kvarts, jernmalm, aluminiumsilikat og titanoksid i tillegg består det av flere aluminiumhydroksider.

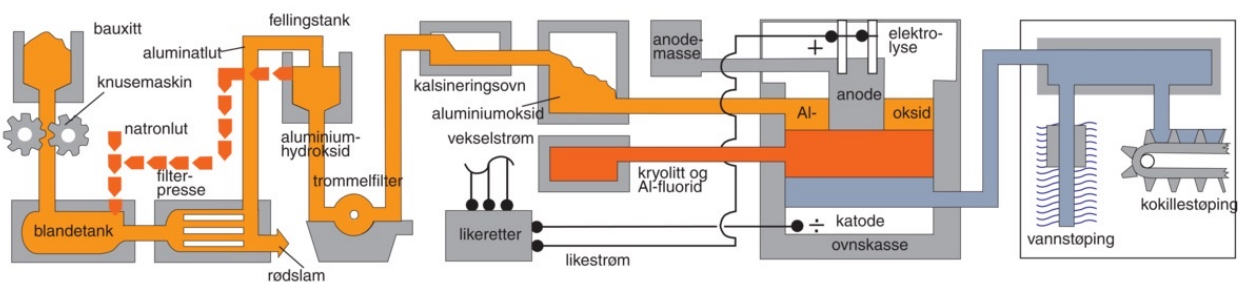
Aluminiumsmalm brukes som råstoff for å framstille rent aluminium. Prosessen forgår på den måten at bauxitten blir sendt til et anlegg hvor den blir knust i en kvern og leiren blir vasket bort. Deretter blir aluminiumsoksid, også kalt alumina, ekstrahert fra bauxitten ved raffinering. For å skille bauxitt og alumina fra hverandre brukes kalk og en varm løsning av kaustisk soda. Dette filtreres bort og alumina tørkes og blir da et hvitt pulver. Etter dette kreves det elektrisitet, karbon

og alumina for å produsere rent aluminium. Det foregår i en elektrolysecelle hvor anoden reagerer med oksygenet i alumina og danner karbondioksid. Dette resulterer i flytende aluminium som tappes ut av elektrolysecella, en prosess som foregår på et metallverk (Hydro, 2022).

Reaksjonsligningen for elektrolysen er vist i ligning 2.1.1.



Figur 2 beskriver framstillingen av aluminium i en forenklet form.



Figur 2: Figuren er en forenklet illustrasjon av produksjonen av aluminium (Pedersen, 2022).

Produksjon av aluminium har foregått i Norge helt siden 1908.(Pedersen, 2022) Råstoffet bauxitt finnes for det meste langs ekvator, så dette hentes ikke ut i Norge.

2.1.1 Aluminiumlegering

Etter framstillingen av rent aluminium utføres forskjellige metoder for å skape egenskapene som trengs til de forskjellige bruksområdene. Et eksempel er å legerer metallet.

Aluminium er et svært lite sterkt materiale, men siden det er et metall med så gode egenskaper er det et sterkt ønsket materiale i en rekke applikasjoner. Dette er applikasjoner som trenger forskjellige egenskaper for metallet. Det brukes derfor legeringer for å oppfylle disse kravene. En legering er en metallblanding med legeringselementer som tilsettes for å endre egenskapene til metallet. De vanligste elementene som tilsettes til aluminium er kobber (Cu), magnesium (Mg), sink (Zn), silisium (Si), og mangan (Mn). Disse legeringene blir navngitt med et firesifret tall ved knalegering og tresifret ved støpelegeringer. Det første tallet klassifiserer hvilket legeringssystem som legeringen tilhører. De resterende sifrene er hvilken standard den tilhører, og er ellers tilfeldig valgt. En oversikt over legeringstyper og legeringselementer er vist i Tabell 2.

Tabell 2: Tabellen er en oversikt over hovedlegeringene og deres elementer.

Legeringstyper	Elementer
1xxx	Ren Aluminium
2xxx	Cu
3xxx	Mn
4xxx	Si
5xxx	Mg
6xxx	Mg + Si
7xxx	Zn
8xxx	Andre

I denne oppgaven er det legering 6082 som blir brukt på alle komponentene. Denne legeringen har like egenskaper som legering 6061, som blir brukt i rørsystemet til RACS. Tabell 3 Hovedkomponentene i legeringsserien 6xxx er magnesium og silisium. 6000-serien er en av få legeringer sammen med 7000-, og 1000-legeringen som ekstruderes, noe som er svært viktig i mye av industrien. Samtidig er denne legeringen godt egnet for kontrollert varmebehandling for å endre mekaniske egenskaper. (Hydal)

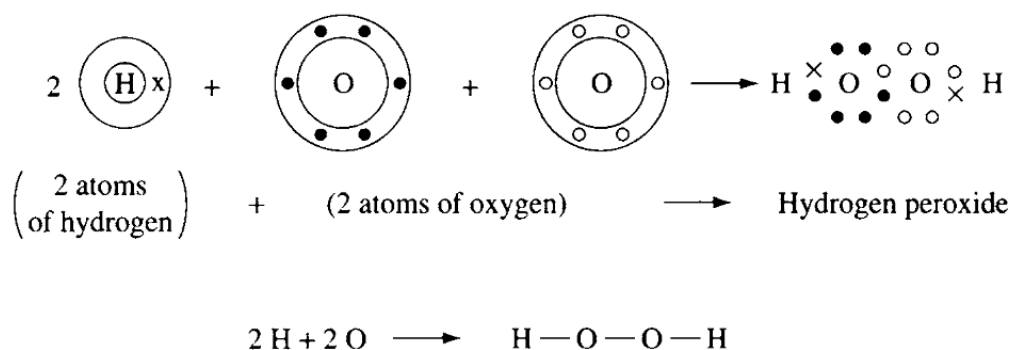
Aluminiumskomponenter med legering 6082 er i tilstanden T6. T6 viser til hardhetsgraden til aluminiumskomponentene, som oppnås ved partikkelherding. Partikkelherding er en varmebehandlingsteknikk som brukes til å øke flytespenning, som er spenningen materialet tåler før det oppstår plastisk deformasjon. Tabell 3 viser et eksempel på en sammensetning av de forskjellige metallene i legering 6082.

Tabell 3: Tabellen viser et eksempel på sammensetningen av aluminiumslegering 6082. (AZO, 2005)

Element	Andel [%]
Si	0,7-1,3
Fe	0,0-0,5
Cu	0,0-0,1
Mn	0,4-1,0
Mg	0,6-1,2
Zn	0,0-0,2
Ti	0,0-0,10
Cr	0,0-0,25
Al	Balanse

2.2 Oppbygging og dekomponering av hydrogenperoksid

Konsentrert hydrogenperoksid er en blank, gjennomsiktig væske med molekylformel H_2O_2 , og har en høyere viskositet enn vann. Hydrogen og oksygen atomene i molekylet er bundet av delte elektronpar, vist i Figur 3

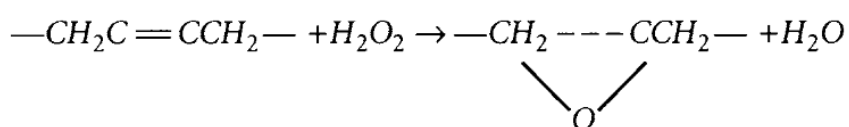


Figur 3: Figuren viser sammensetningen av hydrogenperoksid. (Woodard & Curran, 2006a)

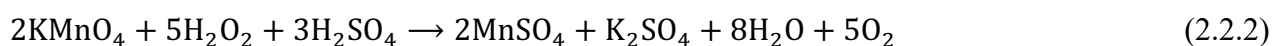
Bindingen mellom oksygenatomene er relativt svak, som gjør det lett for hydrogenperoksid å dekomponere til to frie hydroksidradikaler, illustrert i reaksjonsligning 2.2.1. Disse radikalene er sterkt reaktive og oksiderende, og er derfor også korrosive. (Woodard & Curran, 2006b)



I sammenligning med vann har hydrogenperoksid et ekstra oksygenatom, som lett kan spaltes av. Dette aktive oksygenet som gis vekk, noe som reduserer molekylet til vann, gjør peroksidet til et sterkt oksidasjonsmiddel. Når det gjøres målinger på dekomponering av hydrogenperoksid over tid er det ofte tap i det aktive oksygenet som måles. Den oksiderer ofte organiske komponenter direkte, eksempel vist i Figur 4, men også uorganiske, slik som metaller. Forbindelsen kan også bli brukt som reduksjonsmiddel ved oksidasjon til oksyngengass, eksempel av dette med permanganat er vist i reaksjonsligning 2.2.2. Hydrogenperoksid kan dermed sies å være både oksidasjon- og reduksjonsmiddel. (Pedersen, 2019)



Figur 4: Figuren er en illustrasjon av hydrogenperoksid brukt som oksidasjonsmiddel. (Woodard & Curran, 2006a)



Ved kontakt med en del uorganiske stoffer kan hydrogenperoksid bidra til en rask dekomponering. Dette gjelder blant annet jernoksid, kaliumpermanganat, og sølv. (Forsbes & Van Splinter, 2003) De fleste materialer katalyserer dekomponeringen av hydrogenperoksid, og forurensinger slik som ioner og støv i løsningen vil lett kunne katalysere reaksjonen. (Davis et al., 2005) I denne eksoterme reaksjonen, med en entalpi, ΔH , på $-97,4$ kJ/mol, er reaksjonsproduktene vann, oksygen, og varmeenergi. Reaksjonen for denne typen dekomponering kan sees i reaksjonsligning 2.2.3. Hydrogenperoksid i seg selv er ikke antenkelig, men den avgitte varmen kan lett antenne andre brennbare materialer. Reaksjonen blir akselerert av påført varme, både av varme eksternt fra systemet og fra selve dekomponeringen. Dette kan resultere i en stor økning i trykk i beholdene, som kan sprenges hvis ikke skikkelig ventilert.



De bærekraftige produktene dannet fra denne reaksjonen gjør hydrogenperoksid til et veldig grønt drivstoff, og er derfor en god erstatning til de vanlig brukte drivmidlene som ammonium perklorat

og monometylhydrazin. I væskeform kan hydrogenperoksid være skadelig for miljøet, men vil fort dekomponere og danne miljøvennlige stoffer. (Davis et al., 2005)

En studie av denne dekomponeringen av hydrogenperoksid uten å bli katalysert har tidligere blitt gjort. Testen tok for seg hastigheten til dekomponeringen av 90% hydrogenperoksid ved forskjellige temperaturer. Tabell 4 viser resultatene ved de ulike temperaturene. (Davis et al., 2005)

Tabell 4: Tabellen inneholder dekomponeringen i prosent per tid til hydrogenperoksid ved ulike temperaturer (Davis et al., 2005).

Temperatur [°C]	Dekomponering
30	1 % / år
66	1% / uke
100	2% / dag
140	Kokende

For å minimere denne reaksjonen er det ulike måter å utføre. Ved å vaske materialet i kontakt med hydrogenperoksid skikkelig og hindre tilførsel av forurensinger i løsningen vil det minske reaksjonen i å bli katalysert. Det er også mulig å tilsette stabilisatorer i løsningen. Disse stabilisatorene motvirker katalysator effekten fra materialet og forurensinger på hydrogenperoksid med å inaktivere de katalytisk aktive stoffene. Den naturlige dekomponeringen vil altså ikke bli påvirket av stabilisatorene. Natrium- og kaliumstannat ($\text{Na}_2\text{SnO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ og $\text{K}_2\text{SnO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) er de vanligste stabilisatorene som blir brukt. Ved tilsetning vil de hydrolyseres til kolloidalt hydratisert tinnoksid ($\text{SnO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$). Dette kolloidet adsorberer metalliske ioner slik som jern-ioner og kobber-ioner, og med det hindrer disse i å katalysere reaksjonen av hydrogenperoksid. (Davis et al., 2005)

2.3 Kompatibilitet mellom aluminium og hydrogenperoksid

Som nevnt i kapittel 2.2 kan hydrogenperoksid både reagere med metaller, og raskere dekomponere i kontakt med dem. Spesielt er hydrogenperoksid lite kompatibelt med edle metaller, slik som kobber, nikkell, jern og jernoksid, og sølv. Komponenter med en høyere kompatibilitet er glass, rustfritt stål, og ren aluminium og dens legeringer. (Baldrige & Villegas, 2002) Med tanke på materialers ulike kompatibilitetsnivå har FMC utviklet et klassifikasjonssystem som

kategoriserer kompatibiliteten med hydrogenperoksid i fire forskjellige klasser. Disse klassene er beskrevet nedenfor. (NASA, 2004)

Klasse 1: Kan være i langsiktig til ubegrenset kontakt med hydrogenperoksid, best brukt til oppbevaring.

Klasse 2: Kontakt med hydrogenperoksid i 4 timer ved 72 °C, og en uke ved 22 °C. Best for kortsiktig repetert bruk, slik som pumper og ventiler.

Klasse 3: Mer kortsiktig kontakt med hydrogenperoksid, bør ikke overstige 1 min ved 72 °C, og 1 time ved 22 °C.

Klasse 4: Hydrogenperoksid dekomponerer raskt ved kontakt, ikke anbefalt materialet.

Ulike kombinasjoner av metaller i aluminiumslegeringer vil gi en forskjellig kompatibilitet med hydrogenperoksid, og kan derfor kategoriseres i klassesystemet. Ved økende styrke på legeringen vil kompatibiliteten med hydrogenperoksid vanligvis reduseres. (NASA, 2004) Tabell 5 viser kompatibilitetsvurderingen til forskjellige aluminiumslegeringer, dens styrke, og varmebehandling på legeringen.

Tabell 5: Tabellen er en oversikt over strekkstyrke, kompatibilitet med hydrogenperoksid, og varmebehandling på ulike legeringer. (NASA, 2004)

Aluminiumslegering	Varmebehandling	Strekkstyrke [MPa]	H ₂ O ₂ kompatibilitet klasse
1060	H14	89,6	1
1100	H14	117,2	1
2024	T6	393,0	3
Al-Li 2195	T81	455,1	2
2219	T81	344,7	3
5254	H112	117,2	1
6061	T6	275,8	2
7075	T6	503,3	4

Ved legeringer som har en høyere andel av edlere metaller vil dette bidra til inkompatibelhet med hydrogenperoksid, som er tilfellet med 6082 aluminiumslegeringen brukt i dette forsøket. Dette utgjør en konflikt ettersom det er ønskelig å endre egenskapene til aluminiumen ved tilsetning av mindre kompatible stoffer, slik som øking av styrke som kan sees i Tabell 5. Legeringstyper der det første tallet er 1 sier at materialet er ren aluminium, og har derfor ingen tilsatte edlere metaller.

Dette gjør disse legeringene veldig kompatible med hydrogenperoksid, og er derfor av klasse 1 i klassifikasjonssystemet. For både å redusere dekomponeringen av hydrogenperoksid og dens angrep på metallet er det mulig å passivere den i en syre eller en annen løsning, og dermed danne et metalloksidsjikt på overflaten. Med dette dannes det et sjikt av alumina mellom hydrogenperoksid og legering slik at de ikke er i kontakt. (Baldrige & Villegas, 2002) Oksider av metaller er ofte mindre reaktive enn rene metaller.

FMC har også klassifisert kompatibiliteten til aluminiumslegeringer som har blitt passivert. De har gitt materialet en klasse, funnet effekten til metallet på hydrogenperoksid målt i vektprosent Active Oksygen Loss (AOL) per uke ved 66 °C, stabiliteten til hydrogenperoksid etter testen, og effekten av hydrogenperoksid på materialet. Stabiliteten etter testen er definert som prosentandelen av hydrogenperoksid brukt i testen som er igjen etter oppvarming til 100 °C i 24 timer. Disse verdiene til ulike passiveringsmetoder på en 6061-aluminiumslegering er vist i Tabell 6. (Davis et al., 2005)

Tabell 6: Tabellen viser klassifisering, effekt på hydrogenperoksid, stabilitet, og effekt på materialet for ulike passiveringer av 6061 aluminiumslegering.

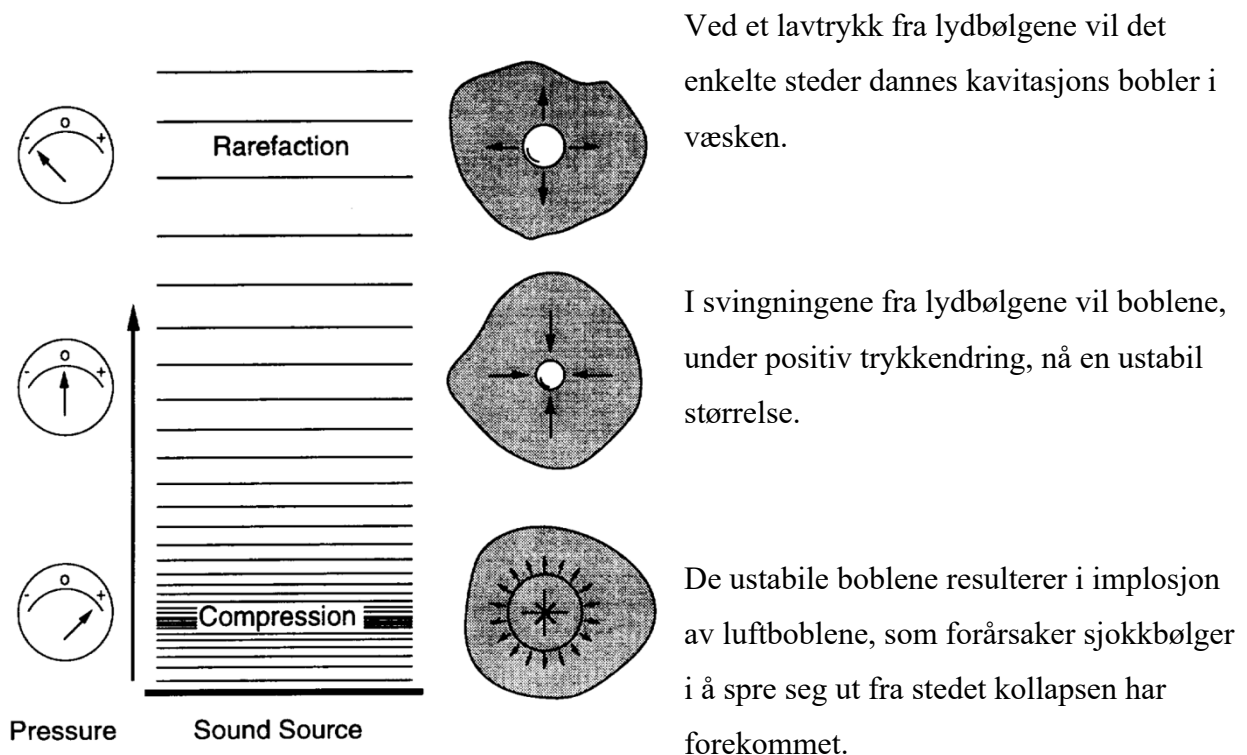
Material	Klasse	Effekt på H ₂ O ₂ [%/uke ved 66 °C]	Stabilitet	Effekt på materialet
6061	2	4,8	98,7	Korrosjon
H ₂ SO ₄ anodisert	2	4,1	-	Ingen
H ₂ CrO ₄ anodisert	3	15,5	-	Ingen
45 % HNO ₃	2	2,4	89,4	Ingen
Hard coating	3	23-42	50-70	Ingen
Porøst Al ₂ O ₃	2	19	-	Ingen

Som kan sees i tabellen hindrer passiveringene korrosjon på metallet. Korrosjon kan fortsatt oppstå på passivert aluminium, og er ofte et resultat av en sprekk eller feil i passiveringssjiktet. Ved tilsetning av et salt med nitrat kan det hindre korrosjon på materialet. Denne inhibisjonen oppstår av at nitraten oksiderer aluminiumen der sjiktet er ødelagt, som gjør at materialet forblir passivert. Dette hindrer hydrogenperoksid i å korrodere det upassiverte området, i tillegg til at det minimerer kontakt med ren aluminium og dermed minsker dekomponering av hydrogenperoksid. (Davis et al., 2005)

2.4 Forberedelse av aluminium legering 6082-T6 prøver før passivisering

2.4.1 Ultralyd til fjerning av forurensing

Ultralydbad kan brukes til å effektivt fjerne forurensinger på ulike materialer som ellers kan være vanskelig å få rensert med bruk av andre metoder. Denne metoden bruker ultralydbølger til å danne kavitasjon i vaskemiddelet objektet befinner seg i. En slik kavitasjon i væsken beskrives som en dannelse av gassbobler som et resultat fra et trykkfall. Det er de intense ultralydbølgene som danner disse trykksvingningene i væsken. Trykket må senkes ned til under væskens damptrykk for å få faseovergang fra væske til gass. (Helseth, 2021) Når trykket ved gassboblene stiger til over damptrykket, vil boblen implodere. Figur og beskrivelse er vist nedenfor i Figur 5. Dette skjer konstant og i svært høy hastighet. Vakuumvirkningen fra imploderingen av boblen fører til en liten trykkbølge, som hvis i nærheten av et objekt kan løsne eller bryte forurensinger på materialet. (Fuchs, 1995a)



Figur 5: Figuren beskriver hvordan kavitasjon og implosjon oppstår fra ultralydbølger i en væske. (Fuchs, 1995b)

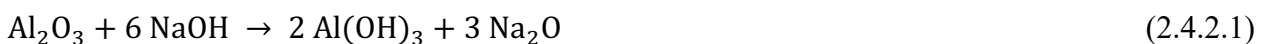
2.4.2 Oppløsning av aluminiumoksid ved pickling

Etter blant annet produksjon, ekstrudering og innherding av aluminiumskomponenter vil det være en del olje og andre forurensninger på komponentene. Typisk for aluminium er at den reagerer

veldig raskt med luft og danner da en overflate bestående av aluminiumsoksid. Før videre behandling av aluminium kan det lønne seg å fjerne dette oksidsjiktet fra komponentene. Blant annet når komponentene skal passiviseres. En metode som blir brukt for å fjerne disse urenheterne er overflatebehandlingen pickling. (Bishopp, 2005)

Overflaten til metaller kan inneholde urenheter, som kan ha en effekt for videre bruk eller prosess av metallet. Pickling er en type overflatebehandling som blir brukt for å fjerne disse urenheterne. På overflaten til jern kan det for eksempel være rust eller jernoksid, som kan fjernes ved pickling. Ved pickling av jern brukes ofte hydrogenklorid. Hva slags type medium som blir brukt til pickling avhenger av type metall og hvilken hensikt behandling skal ha.

I denne oppgaven skal aluminium med legering 6082 pickles. Natriumhydroksid egner seg godt som medium for aluminiumslegeringer. (Davis et al., 2005) Ligning 2.4.2.1 viser reaksjonen som skjer ved pickling med natriumhydroksid på aluminium.



Det er viktig å holde visse parametere for picklingmediumet under kontroll. Slikt som konsentrasjon, tid og temperatur. Dette er fordi picklingmedium er veldig reaktivt med behandlingsbart metall.

2.5 Passivisering av aluminium

I kontakt med luft reagerer aluminium med oksygen og danner aluminiumoksid, som vist i ligning 2.5.1. (Pilgaard, 2019) Dette oksidsjiktet er kun noen nanometer tykt.

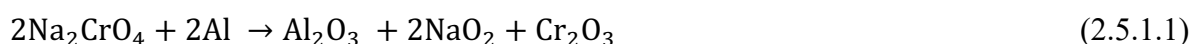


Oksidsjiktet forhindrer videre reaksjon med oksygen, og det blir derfor beskyttende for materialet. Det er noen ganger et behov for et enda tykkere beskyttende sjikt. Som blant annet når aluminiumskomponenter er i kontakt med et annet medium som er reaktivt med aluminium. Det blir da brukt en metode som kalles passivisering. Det finnes flere metoder passivisering, som anodisering av aluminium, kjemisk passivisering, kromatbehandling av sink og fosfatering av stål.

2.5.1 Kjemisk passivering av aluminium

Kjemisk passivering er en metode hvor en fremkalt reaksjon gjør overflaten til metallet mer motstandsdyktig mot korrosjon. Det kjemikalie som blir brukt som passiverings medium reagerer med aluminium og danner et oksidsjikt. Denne danner et enda tykkere sjikt enn den naturlige reaksjonen med luft, som vist i ligning 2.5.1. Tykkelsen og styrken på oksidsjiktet vil derimot være avhengig av passiveringskjemikalie. (T. Singh, 2016)

Den teoretiske beste metoden å passivere aluminium på er ved seksverdig krom. Et eksempel på reaksjonen som oppstår er vist i likning 2.5.1.1. Grunnen til at denne metoden ikke lenger blir brukt i industrien, er fordi seksverdig kromat er svært kreftfremkallende, og er derfor satt på European Chemicals Agency (ECHA) sin liste Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH-IT). (ECHA, 2022)



På grunn av at seksverdig kromat er giftig har flere produsenter gått over til å bruke treverdig kromat, selv om det ikke er like bra som seksverdig.

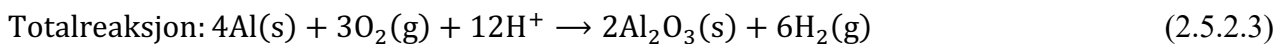
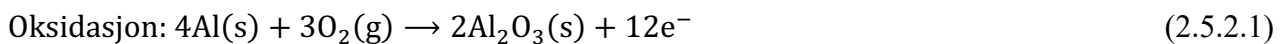
Salpetersyre er et mulig passiveringsmedium, for å danne et aluminiumsjikt på aluminium legering. Reaksjonen er vist i ligning 2.5.1.2.



Passivering med sitronsyre er en vanlig metode innenfor rustfritt stål og spesielt for drikkevareindustrien. (C. O'Laoire, 2006) Grunnen er at det er en mye mer effektiv prosess enn for eksempel salpetersyre. Bruken av sitronsyre har økt de siste årene, men det finnes lite kvantitative studier om dette, og da spesielt studier rundt overflatesammensetningen og strukturen etter behandling med sitronsyre. Sitronsyre kan brukes som tilsetning ved hard anodisering, da den danner komplekse forbindelser med Al^{3+} . Ifølge United States Environmental Protection Agency (EPA) er sitronsyre den sikreste og mest det miljøvennlige materiale å bruke som elektrolytt, og kan ofte derfor erstatte svovelsyre ved hard anodisering. (Jose Cabral-Miramontes, 2021)

2.5.2 Anodisering og hard anodisering av aluminium

Ved elektrokjemiske behandling av aluminium er det mulig å danne et naturlig sjikt av aluminiumoksid. Denne anodiske prosessen bruker strøm i en krets mellom anode og katode, og betegnes som eloksering. (Halmøy, 2018) Anodiseringen vil, hvis aluminium brukt som anode, danne et kontrollert integrert oksidsjikt på overflaten av metallet, som resulterer i økning av prøvens korrosjon- og slitasje- resistans. Metoden kan også brukes til å gi farge til materialet. (Grubbs, 1999) Oksidasjon, reduksjon, og totalreaksjon for denne prosessen kan sees i reaksjonsligning 2.5.2.1, 2.5.2.2, og 2.5.2.3.



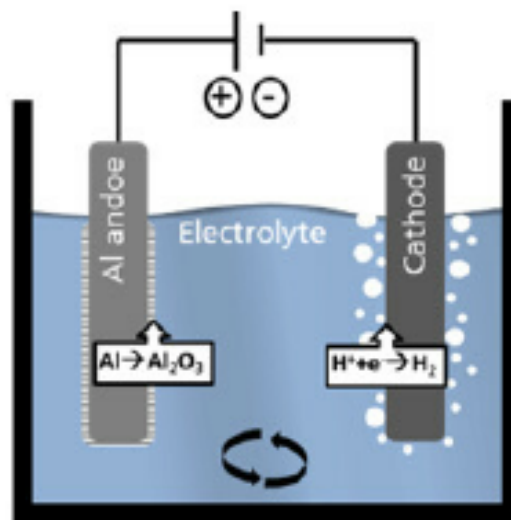
Morfologien og egenskapene til det passiverte sjiktet vil varieres med betingelsene passiveringen foregår i. Dette innebærer faktorer som bruk av elektrolytt, konsentrasjonen til elektrolytten, temperatur, og tid. Den mest brukte løsningen, og den som er brukt i dette forsøket, er svovelsyre som elektrolytt, men det er også mulig å bruke kromatsyre, oksalsyre og fosforsyre. Løseligheten som aluminiumoksid har i løsningen er med på å bestemme morfologien til sjiktet. Ved en syre som oksidet er delvis løselig i, vil det løses opp samtidig som den dannes av likestrømmen. Som et resultat av dette vil oksidsjiktet bli porøst. Til sammenligning vil den bli ikke-porøst hvis dannet med en elektrolytt som den ikke er løselig i. Aluminiumoksid har lav elektrisk konduktivitet og vil derfor stoppe likestrømmen fra å nå metallet på innsiden. På grunn av dette vil det ikke-porøse oksidsjiktet bli tynt, mens det porøse vil gjennom porene gi mer tilgang for løsning og strøm å finne veien til metallet og dermed danne et tykkere sjikt. (Grubbs, 1999)

Ved endring av de ulike parameterne i elokseringen er det mulig å danne aluminiumoksid med store forskjeller i egenskaper og bruksområder. Dette gjelder alt fra farging og dekorering av materialet, til hard anodisering for et hardt slitasjeresistent sjikt.

Som nevnt har valg av elektrolytt mye å si på egenskapene til oksidsjiktet. Parametere som konsentrasjon, temperatur, tid, og spenning vil også ha en innvirkning på hvordan det oppfører seg. Redusering av temperaturen vil gi tettere og hardere sjikt, mens ved økning vil det dannes en

mykere aluminiumoksid med høy porøsitet. Dette er grunnet oppløsningen av sjiktet i løsningen vil øke med temperaturen, som vil gjøre materialet mer porøst. Perioden anodiseringen foregår i har en innvirkning i tykkelsen, der lengre tider vil gi tykkere sjikt. (Tsangaraki-Kaplanoglou et al., 2006)

For overflatebehandling av aluminium med hensikt å farge metallet er standard anodisering den beste metoden å gjøre det på. Figur 6 viser oppsettet til elektrolysen. Her brukes det romtemperatur til passivering, som vil gi et mer porøst sjikt enn ved lavere temperaturer. Denne porøsiteten vil øke oksidsjiktets egenskap til å absorbere farge, og derfor kunne gi den en gitt farge. (Grubbs, 1999)



Figur 6: Figuren viser oppsettet til elektrolyse med aluminium som anode og en kullelektrode som katode. (Kamp et al., 2015)

Hardanodisering er en type anodisering brukt mye til ingeniørapplikasjoner. Den tar for seg lavere temperaturer, høyere syrekonsentrasjoner, og høyere spenning som vil bidra til et tett, hardt, og slitesterkt sjikt. De lave temperaturene gjør reaksjonen av syren på overflaten tregere enn ved høyere temperaturer. For å kompensere for den trege oksideringen økes spenningen, som vil øke reaksjonsfarten og er dermed med på dannelsen av tettere porer og hardere sjikt. (Grubbs, 1999)

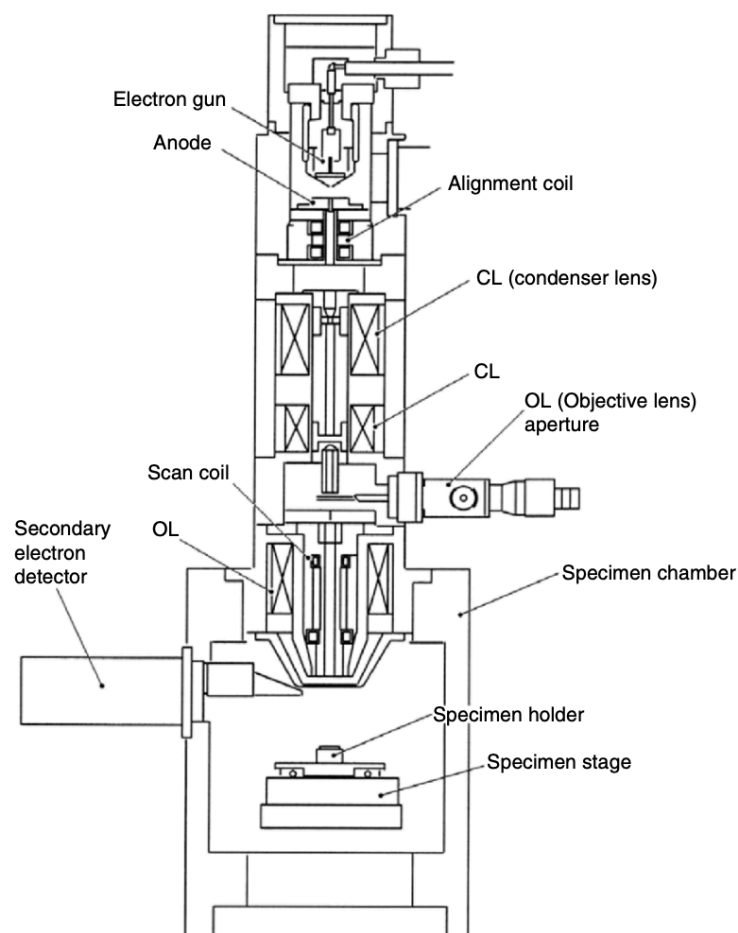
2.6 Ikke-destruktiv test (NDT)

For å måle kvaliteten til materialer kan mange forskjellige tester, som tar for seg ulike fysiske egenskaper, benyttes. Testing der materialet har samme fysiske egenskaper etter testen som den hadde før betegnes som ikke-ødeleggende tester. De kan finne og identifisere defekter og

sprekker, for eksempel fra korrosjon og generell slitasje. I tillegg er det mulig med NDT metoder for å måle tykkelse av materiale, gitt at måleobjektet er innenfor rekkevidden til instrumentet brukt til målingen. Dette varierer avhengig av hvilke måleinstrument som blir tatt i bruk. (Hull & John, 1988) SEM og lysmikroskop er eksempler på slike ikke-ødeleggende tester.

2.6.1 Scanning Electron Microscope (SEM)

Scanning Electron Microscope (SEM) er en NDT metode brukt til å analysere morfologi og kjemisk sammensetning til ulike materialer. Det er i tillegg mulig å måle distanser med SEM. Instrumentet bruker fokuserte stråler av elektroner som sendes på overflaten av materialet og systematisk skanner prøven. Disse elektronene returneres til en mottaker der signalene blir konvertert til synlige signaler. En illustrasjon av struktur og oppbygging av en SEM er vist i Figur 7.

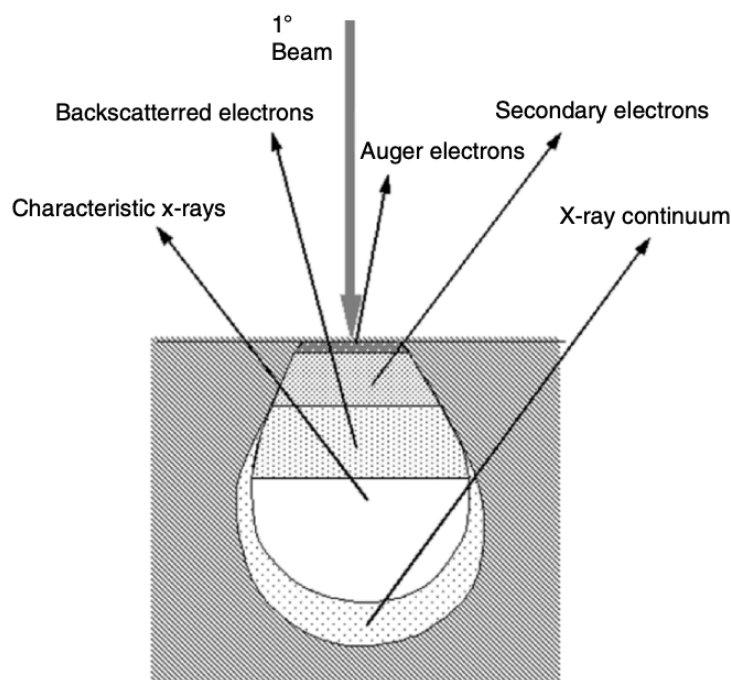


Figur 7: Figuren viser en illustrasjon av oppbygging til en vanlig SEM. (Zhou et al., 2006)

Elektronkanonen øverst på figuren sender elektronstrålene i ønsket fart og energimengde. Arealet denne strålen dekker på prøven er for stort til å få en bra oppløsning på bildene. Det er derfor

nødvendig med bruk av elektromagnetiske linser, til å kunne systematisk fokusere strålene til enkelte punkter som gir en bedre oppløsning på bildene. Disse linsene kan sees i Figur 7, og er justerbare slik at fokuseringen blir best i forhold til prøven. Vakuüm trengs i beholderen for å hindre interaksjoner mellom elektronene og luftmolekylene. (Zhou et al., 2006)

Bildeformateringen er avhengig av hvilke interaksjoner som forekommer mellom elektronene og prøven. Det finnes to hovedtyper av slike interaksjoner, nemlig elastisk og ikke-elastisk spredning. I tillegg til disse er det mulig å danne bilde fra noen andre signaler som forekommer av kollisjon av elektroner med prøven. Figur 8: Figuren viser ulike signaler fra SEM, og områder disse analyserer. Figur 8 viser forskjellige interaksjoner mellom elektron og materialet, og i hvilke områder signalene gir informasjon om prøven. I dette forsøket er Secondary Electrons (SE), Backscattered Electrons (BSE), og Energy-dispersive X-ray Spectroscopy (EDS) signaler tatt i bruk.



Figur 8: Figuren viser ulike signaler fra SEM, og områder disse analyserer. (Zhou et al., 2006)

I elastisk spredning kolliderer sendte elektroner og atomer i prøven, som resulterer i avbøying av elektronet i en vidvinkel. Det er den høye energien elektronene har som gjør at de ikke eksiteres inn i atomene i prøven, men heller spretter av. Hvis vinkelen på avbøyningen er over 90 grader, vil elektronene betegnes som tilbakespredte elektroner (BSE). Atomer med høye atomnummer vil ha en større positiv ladning i kjernen, noe som gjør at en større andel av elektronene bli tilbakespredte ved økt atomnummer. Signalene vil dermed variere med ulike atomnummer på prøven, og gir

derfor informasjon om sammensetningen i prøven som analyseres. Den gir også informasjon om topografien til materialet.

Ved ikke-elastisk spredning har ikke elektronene like høy energi slik som i elastisk, og vil derfor gi store mengder av energien sin til atomer i prøven. Eksitasjonen kan være enkelt, men kan også eksiteres over flere skall, noe som resulterer i variasjon i mengde energi som blir overført fra elektronene. Energooverføringen fra de primære elektronene sendt på prøven kan emittere løse elektroner ut av atomene. Denne eksitasjonen av prøvens atomer danner såkalte sekundære elektroner (SE), og er definert etter en energimengde på under 50 eV. Den lave energien gjør at elektronene i prøven bare forlater materialet i noen få nanometer fra overflaten, og markerer derfor posisjonen til atomet med god nøyaktighet, som gir en bra oppløsning og gode topografiske bilder. (Zhou et al., 2006)

I EDS er det røntgenstrålinger som gir et signal, oppstått når sendte elektroner flytter et elektron i det indre skallet, som gjør det mulig for et ytre skall elektron å ta den tomme plassen for å gjenoppstå balansen. Dette vil spalte av et røntgenfoton, som gjør det mulig å analysere den kjemiske sammensetningen til prøven med god nøyaktighet. (Mohammed & Abdullah, 2018)

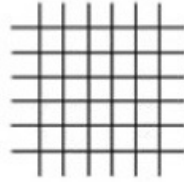
2.7 Destruktiv test (DT)

Destruktiv test er en metode som tester prøver for feil. De er svært effektive, lette å gjennomføre, gir mye informasjon, og lettere å tolke enn ikke-destruktive tester. Grunnen til at det ofte blir gjennomført ikke-destruktiv testing istedenfor destruktiv testing, er fordi ved destruktiv testing blir prøven eller materiale ødelagt i prosessen. Fordelen er at det ofte er mer økonomisk å utføre destruktive tester, og denne metoden blir ofte brukt på produkter som skal masseproduseres. Det finnes mange forskjellige destruktive tester, og hvilke tester som blir kjørt er avhengig av hvilke feil som skal detekteres og type prøvematerialet. Det finnes mange eksempler på destruktive tester som Cross Hatch, Vickers hardhetsmåler, strekktesting og korrosjonstester. (C. Albano, 2005)

2.7.1 Cross-hatch Cutter for klassifisering av sjikt

En god og effektiv målingsmetode for å finne vedheft er ved bruk av Cross-Hatch Cutter. Dette er et skjæreverktøy med mange blader, i dette tilfelle seks. Det brukes til å skjære i et materiale for å sjekke adhesjonsmotstanden til sjiktet på prøvematerialet. Dette vedheftsverktøyet er ideelt for både tykke og tynne sjikt, samt flate overflater. Skjæreverktøyet skjærer på en måte hvor det lages et gittermønster, som er vist i Figur 9.(Equipment) Ved hjelp av for eksempel et lysmikroskop kan

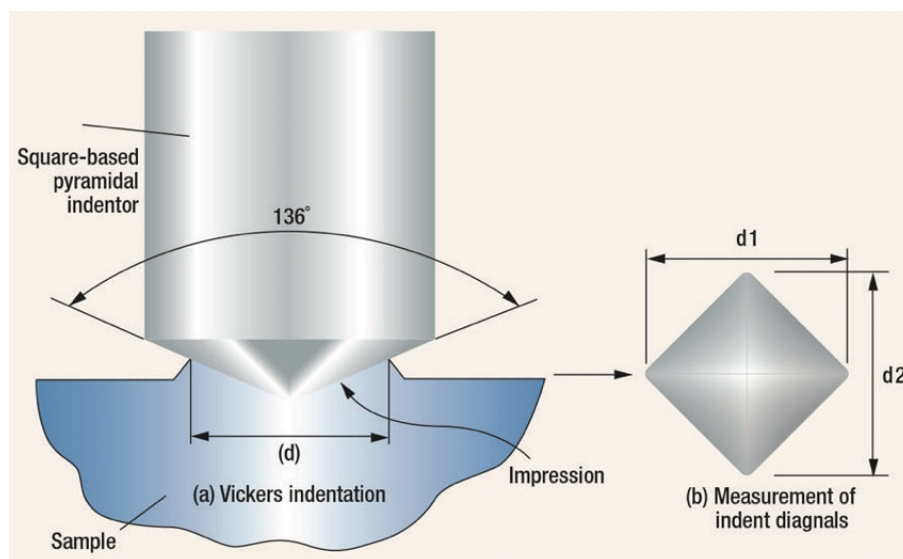
dette gittermønsteret undersøkes og klassifiseres ved bruk av vedlegg DD Klassifiserings guide for Cross-hatch Cutter. Ut fra dette kan forskjellige sjikt sammenlignes og undersøkes.



Figur 9: Figuren viser en illustrasjon av skjæringsmønsteret for Cross-Hatch Cutter.

2.7.2 Kvalitetsmåling av sjikt med Vickers hardhetstest

Vickers hardhetsmåler er en av de enkleste og mest praktiske av testene. Den blir til og med i noen tilfeller definert som en ikke destruktiv test. Dette fordi den skader kun en veldig liten del av materialet, og for noen prøver kan dette ha minimalt å si og produktet kan etterpå brukes som tiltenkt. (S. Kaan Gurel, 2019) Vickers hardhetsmåling er en mye brukt metode for forskjellige metaller med et bredt hardhetsspekter. I denne metoden blir en pyramideformet spiss trykket ned mot overflaten av metallet. Denne pyramidespissen har en kjent pyramideformet form med vinkler på 136° . (S. Kaan Gurel, 2019) Tid og styrke bestemmes på forhånd, men tiden er som oftest satt til 10 sekunder. Illustrasjon av Vickers hardhetsmåler er vist i Figur 10.



Figur 10: Figuren viser en illustrasjon av Vickers hardhetsmåling. Indenten lager inntrykk i prøven som vist i (a), mens (b) viser inntrykket sett ovenfra med mål på diagonalene. (S. Kaan Gurel, 2019)

Formel 2.7.2.1 viser hvordan hardhet beregnes. P er last i kg, mens d er gjennomsnittet av de to diagonalene i mm, som er vist i Figur 10 (b). De to diagonalene er målt ved hjelp av et optisk system. Denne beregningen utføres av selve instrumentet.

$$HV = \frac{1,854P}{d^2} \quad (2.7.2.1)$$

3. Material og metode

3.1 Materialer og utstyr

Det er brukt flere forskjellige metoder for passivering av aluminium, og dermed også flere ulike kjemikalier og materialer, i tillegg til bruk av diverse utstyr og maskiner. Tabell 7 viser hvilke kjemikalier og type materiale som er brukt, mens Tabell 8 inneholder de ulike utstyrene og instrumentene brukt. I tillegg er det utført en del fortynninger av løsningene brukt i forsøkene. Et eksempel på beregning av fortynning er vist i vedlegg A. Aluminiumsprøvene ble sendt fra Nammo Raufoss AS.

Tabell 7: Tabellen er en oversikt over kjemikalier og materialer brukt i forsøkene.

Kjemikalier og materialer
Aluminiumslegering (6082-T6)
Isopropanol (99 %)
Salpetersyre (HNO ₃) (65 %)
Natriumhydroksid (NaOH) (99,1 %)
Svovelsyre (H ₂ SO ₄) (17,82 M)
Sitronsyre (C ₆ H ₈ O ₇) (100 %)
EpoFix resin
EpoFix hardener

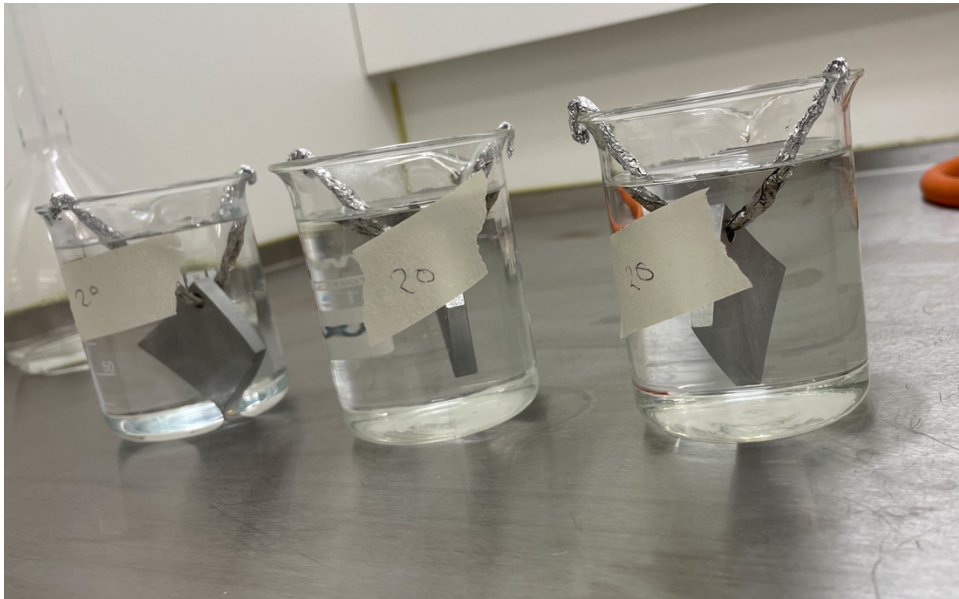
Tabell 8: Tabellen er en oversikt over utstyret som ble brukt til forsøkene.

Utstyr
Varmeskap
Ultralydbad Transsonic 700/H
PHM 92 LAB pH METER
Elektrolyseoppsett
SEM, JCM-6000
Skjæreapparat, Labotom-5
Autopoleringsapparat, SAPHIR 550
1542 Cross Hatch Adhesion Tester
Lysmikroskop, Eclipse MA200
Hardhetsmåler, Duramin-40 AC1

3.2 Metode

3.2.1 Passivisering av aluminium med legering 6082-T6

Alle forsøkene er utført med tre tester parallelt for å sikre god kvalitet på forsøkene. Forskingen innebærer ni forsøk med salpetersyre, fire med sitronsyre, og fem med anodisering. Parametere er endret på for alle de ulike forsøkene i samme metode. Når det var behov for å redusere temperaturen, ble det benyttet bruk av isbad. En kokeplate ble benyttet når det var behov for å øke temperaturen og termometer ble brukt for å sikre riktig temperatur. Prøvene ble plassert i lik posisjon i et begerglass, ved å spinne aluminiumsfolie til en tråd som prøvene ble festet i. Bilde av dette fra et av forsøkene er vist i Figur 11.



Figur 11: Figuren viser oppsats av prøvene ved vasking, pickling og passivisering.

3.2.1.1 Vasking, avfetting og pickling av aluminium med legering 6082-T6

Prøvene ble først kokt i deionisert vann i 5 minutter og deretter tørket i et varmeskap (Termaks) ved 50 °C. Videre ble komponentene satt i isopropanol i ultralydbad (Transsonic 700/H, Elma) i 5 minutter. Ved bruk av deionisert vann ble de vasket etter ultralydbadet og deretter tørket i et varmeskap ved 50 °C.

Pickling ble utført på alle prøvene før passiviseringen, men med varierende parametere, som tid og konsentrasjon. Natriumhydroksid ble tilsatt begerglasset med prøven i et gitt tidsintervall. Etter dette ble prøven vasket med ionebyttet vann, og tørket i varmeskap ved 50 °C. pH ble målt før og etter pickling med et pH-meter (PHM 92 LAB, Nerlinens, Kjemisk Teknisk AS).

3.2.1.2 Passivisering med salpetersyre

Salpetersyre (33 %) ble tilsatt et begerglass med aluminiumsprøven. Den ble så satt i et avtrekkskap i romtemperatur i 24 timer. Etter dette ble prøven vasket med deionisert vann og pH ble målt. Prøven ble tørket i et tørkeskap på 50 C°. Deretter ble prøven lagt forseгла og merket. Det ble utført flere forsøk av kjemisk passivisering med salpetersyre. Tabell 9 viser disse. Framgangsmåten var lik på alle, bortsett fra at prøve 8 ble slipt på en slipelab før passiviseringen. Det var kun endring i konsentrasjon og tid. (Davis et al., 2005)

Tabell 9: Tabellen er en oversikt over konsentrasjonen, temperaturen og tiden for hvert passiveringsforsøk med salpetersyre og natriumhydroksid som pickling middel.

Prøve	Konsentrasjon HNO ₃ [%]	Tid [timer]	Pickling NaOH [%]
1	33	24	0,5
2	33	24	5
3	33	48	0,5
4	33	48	5
5	33	72	0,5
6	35	2	0,5
7	45	1	0,5
8	33	24	0,5
9	45	24	0,5

3.2.1.4 Passivering med sitronsyre

Fortynnet sitronsyre (10 %) ble tilsatt et begerglass ved romtemperatur. Aluminiumsprøven ble tilsatt løsningen, og plassert i et avtrekksskap. Etter 1 time ble den passiverte prøven tatt ut. Til slutt ble prøven vasket med destillert vann og satt i et varmeskap til tørking. (Browning, 2019)

Tabell 10 viser endringene i parametere for de ulike forsøk som hadde lik fremgangsmåte, men med ulik konsentrasjon og tid.

Tabell 10: Tabellen viser konsentrasjonen og tiden for hvert passiveringsforsøk med sitronsyre.

Prøve	Konsentrasjon C ₆ H ₈ O ₇ [%]	Tid [timer]
1	10	1
2	10	48
3	10	24
4	45	24

3.2.1.3 Anodisering med svovelsyre

Det ble laget 500 mL av en fortdynnet svovelsyreløsning (2 M) i en målekolbe med deionisert vann. En kullelektrode og aluminiums prøven ble koblet til en strømkilde som henholdsvis katode og anode. Et begerglass ble satt på en magnetrører og en magnet ble tilsatt. Løsningen ble tilsatt, og elektrodene ble montert slik at de ikke var i kontakt med hverandre. En illustrasjon av oppsettet er vist i Figur 6 i teoridelen. Spenningen ble stilt inn til 30 V og strømmen ble så satt på, slik at det ble observert gassdannelse fra katoden. Reaksjonen foregikk i 1,5 time, og prøven ble så vasket og tørket i varmeskap. (Grubbs, 1999)

Denne fremgangsmåten ble gjentatt flere ganger, men med noe endring i parameterne for hver av forsøkene. Tabell 11 viser hvilke parametere som er endret, og i hvilken grad. Det ble utført endringer i konsentrasjon, temperatur, tid, og spenning.

Tabell 11: Tabellen viser en oversikt over konsentrasjon, temperatur, tid, og spenning for hvert passiveringsforsøk med svovelsyre.

Prøve	Konsentrasjon H ₂ SO ₄ [M]	Temperatur [°C]	Tid [timer]	Spenning [V]
1	2	25	1,5	30
2	2	5	1,5	5,6
3	2	25	1	19,8
4	1	25	2	21,4
5	1	5	2	20,1

3.2.2 Destruktiv og ikke-destruktiv testmetoder

3.2.2.1 Kompatibilitetstest med hydrogenperoksid og passiviserte aluminium med legering 6082-T6

Prøvene ble veid, lagt i en løsning av hydrogenperoksid (30%), og begerglassene ble dekket med aluminiumsfolie. Det ble gjort visuelle observasjoner på reaksjonen mellom de to komponentene. Etter en uke ble prøvene tatt ut, tørket i varmeskap, og veid. Deretter ble de rensset i destillert vann, tørket, og veid på nytt.

Tabell 12 viser hvilke prøver som har blitt testet med hydrogenperoksid. De av prøvene som var passivisert med salpetersyre, ble prøven dekket med hydrogenperoksid (30%), mens prøvene fra anodisering ble kun 20% av prøven dekket.

Tabell 12: Tabellen viser hvilke prøver som ble testet mot hydrogenperoksid.

Prøve nr.	Passivert med HNO ₃	Anodisert med H ₂ SO ₄
1	X	X
2	X	X
3	X	X
4		X
5		X
6		
7		
8		
9	X	

3.2.2.2 SEM (JCM-6000, JEOL) og lysmikroskop (Elipse MA 200, Nikon)

For å observere topografien til prøven ble SE signaler på SEM apparatet brukt. Ved analyse av sammensetning ble den byttet over til BSE. Før identifisering og måling av passiveringssjiktet ble prøvene støpt i EpoFix med en resin/hardener ratio på 25:3 i minst 24 timer. De støpte prøvene ble så kuttet med et skjæringsapparat (Labotom-5, Struers). Autopoleringsapparat (SAPHIR 550, Holger Hartmann) ble så brukt til å polere prøvene tilstrekkelig blanke, for å gjøre de klare til å settes i SEM slik at sjiktet kunne analyseres. Her ble også lysmikroskop brukt for identifiseringen. Tabell 13 inneholder fremgangsmåte for poleringen. Dette innebærer hvilke slipepapir og kjemikalie brukt, tiden, og kraften poleringen foregikk i ved de forskjellige trinnene.

Tabell 13: Tabellen viser fremgangsmåte for polering av prøvene.

Trinn	Slipepapir	Kjemikalie	Tid [min]	Kraft [N]
1	P320	H ₂ O	3	15
2	Lagran 9	Diamaxx poly 15 µm	3	20
3	MD-dur	Diamaxx poly 3 µm	3	20
4	OP-S	OP-U	3	20

3.2.2.3 Cross-hatch Cutter (1542 Adhesion Truster, Elcometer)

Måleverktøyet ble holdt slik at bladet stod normalt på prøvemateriale. Deretter ble den trukket med en jevn hastighet og trykk over prøven. Dette ble gjentatt på kryss 90° for det originale kuttet, til et gittermønster. Etter dette ble testområdet børstet og tapet med adhesjonstape (ca. 75 mm) på gittermønsteret parallelt med ett av kuttene. Tapen ble så fjernet etter 5 minutter i et jevnt og raskt tempo i en vinkel på ca. 60°. Etter dette ble prøvene sett på i et lysmikroskop. (Equipment) Tabell 14 viser hvilke prøver som ble testet med Cross-hatch Cutter.

Tabell 14: Tabellen viser prøvene som ble testet med Cross-hatch Cutter.

Prøve nr.	Passiviserert med HNO ₃	Passivisert med HNO ₃ (etter kontakt med H ₂ O ₂)	Anodisering med H ₂ SO ₄ (etter kontakt med H ₂ O ₂)
1	X	X	X
2	X	X	X
3	X	X	X
4	X		X
5	X		X
6	X		
7	X		
8	X		
9	X	X	

3.2.2.4 Vickers hardhetsmåler (Duramin-40 AC1, Struers)

Alle prøvene passivisert med salpetersyre ble testet med Vickers hardhetsmåler. Prøvene ble satt i hardhetsmåleren, og høyde og fokus optimalisert slik at det var god kvalitet på avbildingen av prøven. Apparatet ble innstilt til en trykkraft på 1 kg. Etter målingene ble prøvene sett på i et lysmikroskop. (S. Kaan Gurel, 2019)

4. Resultat

Resultatene er kategorisert i egne delkapitler ut ifra de ulike testene som er utført. Både passiveringsmetodene og tester utført på passiveringssjiktet er deretter delt inn etter de forskjellige metodene.

4.1 Passiveringsmetoder utført på aluminium med legering 6082-T6

4.1.1 Passivering med salpetersyre

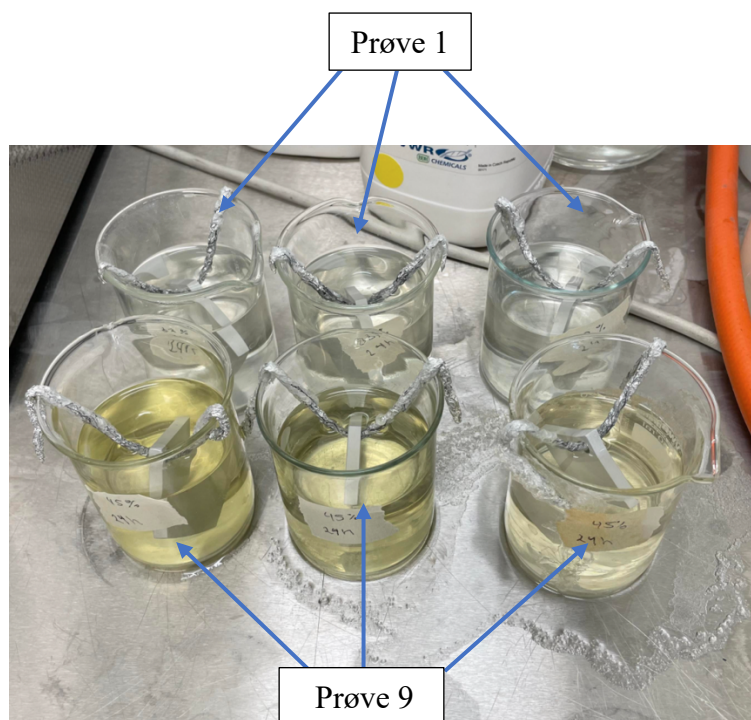
For passivering med salpetersyre ble det utført forskjellige forsøk, med justeringer av tid og konsentrasjon.

Det ble først gjort et forsøk ved bruk av kobbertråd som hengeinstrument istedenfor aluminiumsfolien for 33% salpetersyre er vist i Figur 12 (a). Et bilde fra samme passivering er vist i Figur 12 (b), der kobbertrådene var blitt oppløst i syren. Her har løsningen fått en blålig farge.



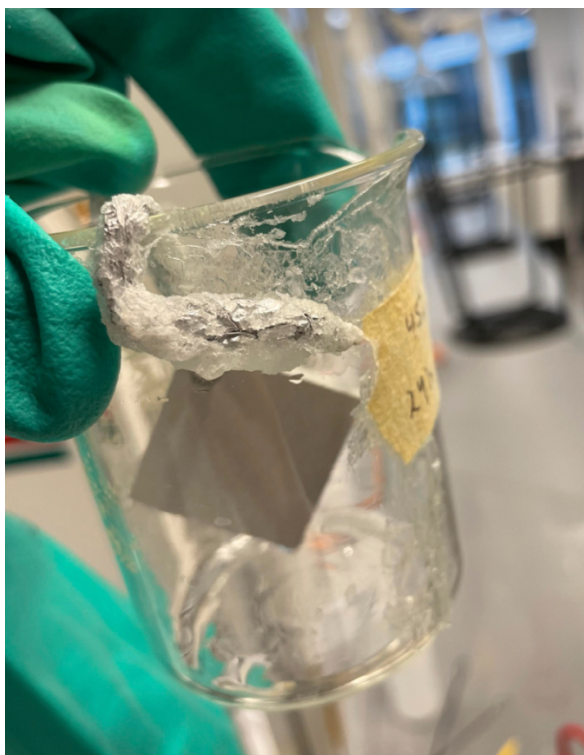
Figur 12: Figur (a) viser passivering med 33% salpetersyre med kobbertråd til opphenging, mens (b) viser oppløsningen av disse trådene.

Figur 13 viser passivering av prøve 1 og prøve 9 med salpetersyre. I løsningen med den høye konsentrasjonen av salpetersyre (prøve 9) oppsto det med tid en gul-grønn farge.



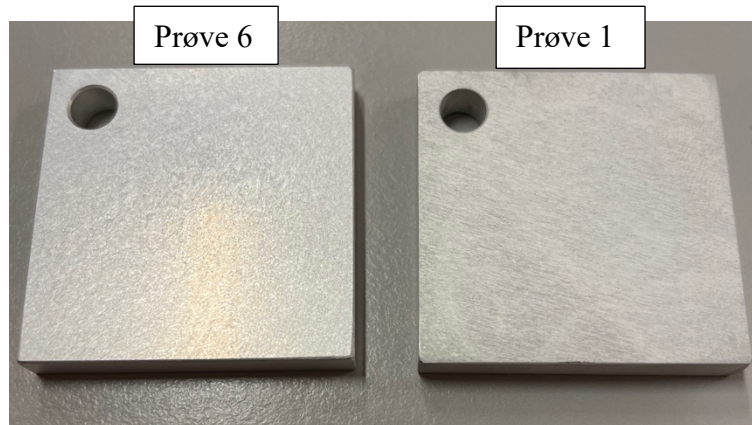
Figur 13: Figuren viser passivering av prøve 1 og prøve 9 med salpetersyre.

Det ble observert krystall-lignende stoffer på aluminiumsfolien ved passiveringen med salpetersyre, vist i Figur 14.



Figur 14: Figuren er et bilde av krystalldannelse på aluminiumsfolien etter passivering med salpetersyre.

Etter passiveringene kunne det visuelt oppdages at det var blitt dannet et sjikt på aluminiumen. Eksempler fra prøve 6 og prøve 1 i passivering med salpetersyre er vist i Figur 15. Prøve 1 har et mer fullstendig og mørkere sjikt enn prøve 6.



Figur 15: Figuren viser visuelt resultat av kjemisk passivering med salpetersyre på prøve 6 og prøve 1.

4.1.2 Passivering med sitronsyre

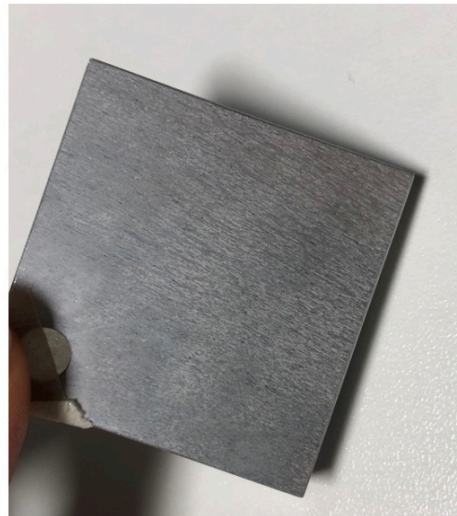
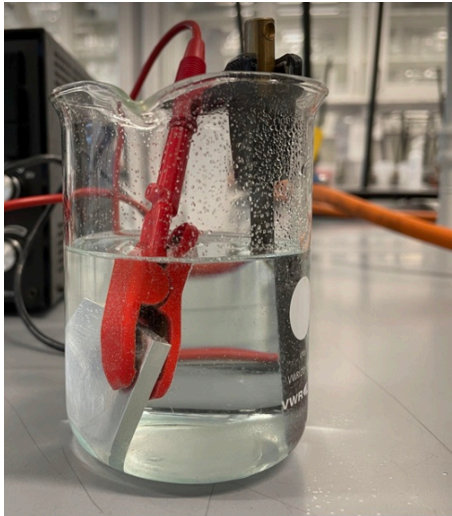
Ved passivering med sitronsyre ble de dannede sjiktene ikke fullstendige. Det ble prøvd å øke konsentrasjonen i prøve 4, resultat vist i Figur 16 (a). Å øke tiden passiveringen foregikk i ble også undersøkt. Figur 16 (b) viser det visuelle resultatet fra prøve 3, mens Figur 16 (c) er fra prøve 2.



Figur 16: Figur (a) viser resultat fra prøve 4 ved passivering med sitronsyre, (b) og (c) viser resultat fra prøve 3 og 2.

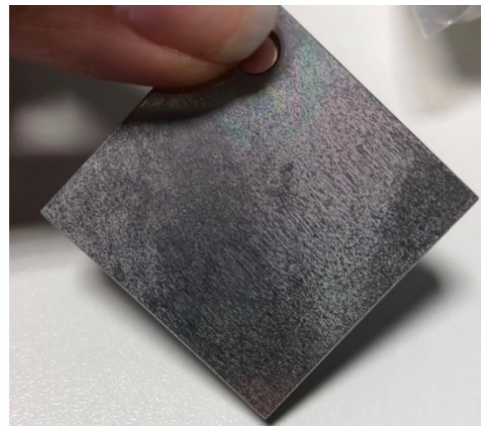
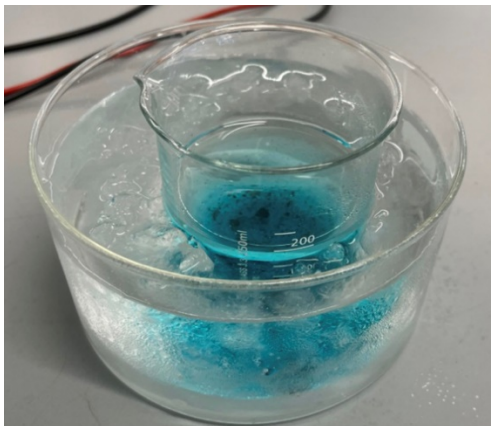
4.1.3 Anodisering med svovelsyre

Figur 17 (a) er et bilde av oppsettet ved anodisering med svovelsyre. Figur 17 (b) viser ferdig resultat av anodiseringen, etter vasking og tørking.



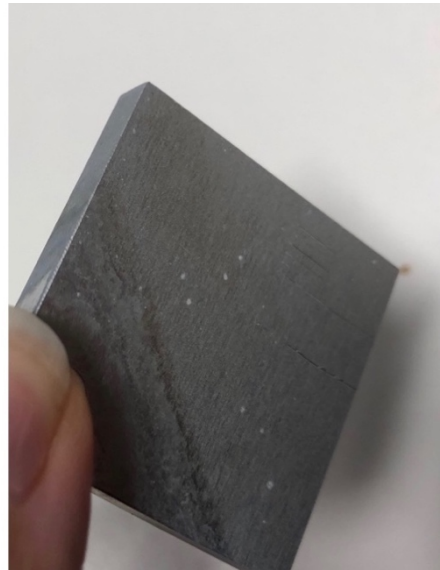
Figur 17: Figuren viser bilde av (a) anodiseringsprosessen til prøve 1 og (b) resultatbilde av prøven.

Figur 18 (a) er et bilde på elektrolyttløsningen etter hard anodiseringen på prøve 2, og (b) viser det ferdige resultatet av prøve 2.



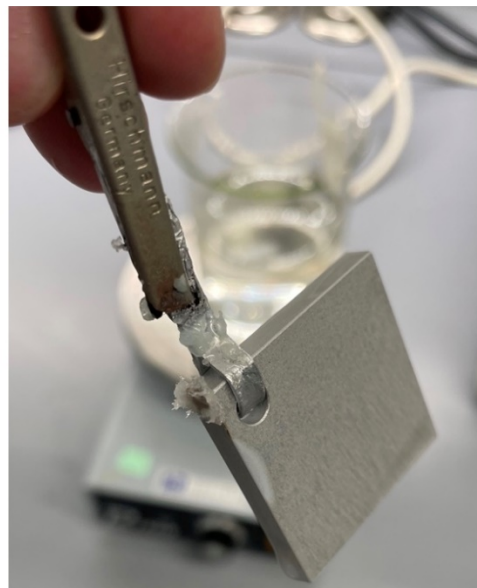
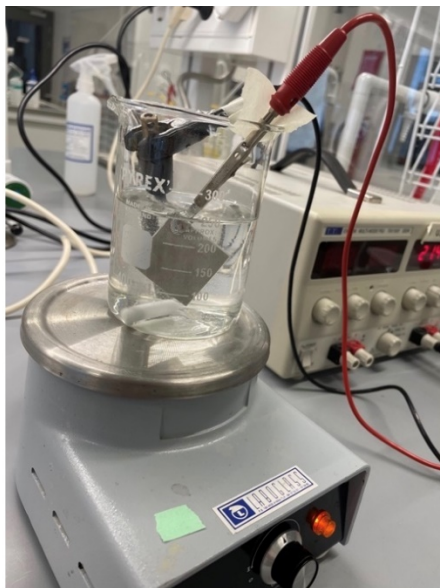
Figur 18: Figuren viser bilde av (a) fargen på løsningen etter anodisering av prøve 2, og (b) bilde av ferdig resultat av prøven.

Bilde av prøve 3 er vist i Figur 19. (a) er et bilde under selve anodiseringsprosessen, mens (b) er bilde på det ferdige resultatet.



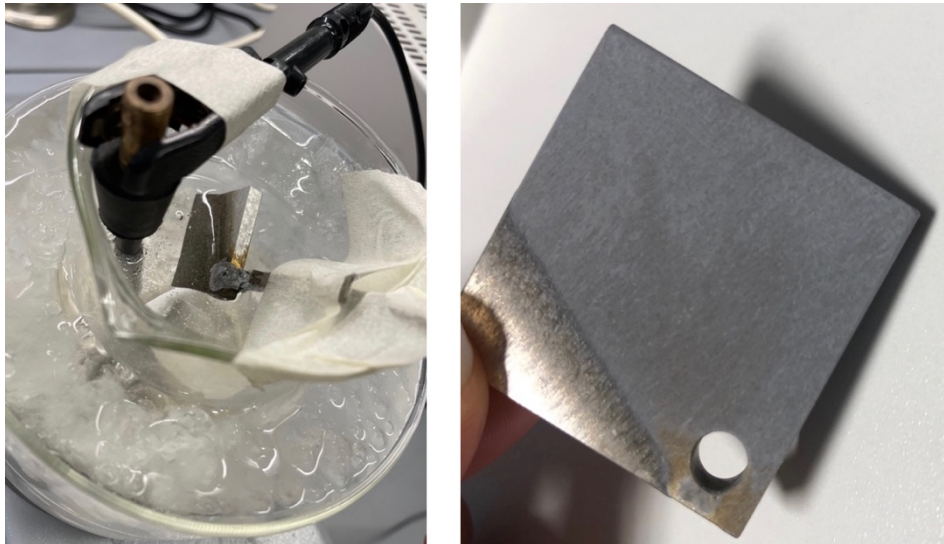
Figur 19: Figuren viser bilde av (a) anodiseringsprosessen av prøve 3, og (b) er bilde av ferdig resultat prøven.

Figur 20 (a) viser bilde av anodiseringsprosessen av prøve 4. Figur 20 (b) viser bilde av ferdig anodisert prøve 4.



Figur 20: Figuren viser bilde av (a) anodiseringsprosessen av prøve 4, og (b) er bilde av ferdig anodisert prøve 4.

Prøve 5 ved anodisering kan ses i Figur 21 (a) og (b). (a) viser selve anodiseringsprosessen, mens (b) viser ferdig resultat.



Figur 21: Figuren viser bilde av (a) hard anodiseringsprosessen til prøve 5, og (b) er bilde av samme prøve, ferdig anodisert.

Tabell 15 er en oversikt over resultatet etter anodisering med svovelsyre som elektrolytt på aluminium 6082.

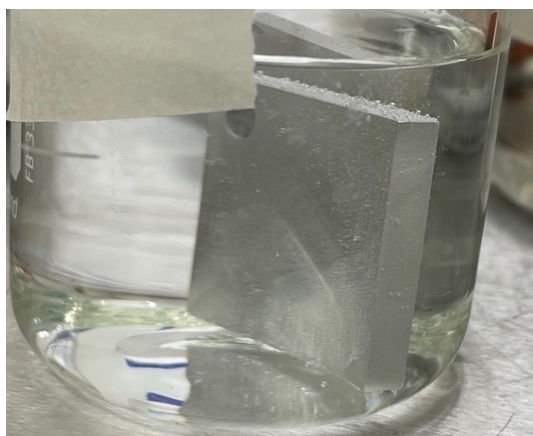
Tabell 15: Tabellen er en oversikt over sjiktdannelse, overflatesjikt og farge på elektrolytten etter utført anodisering på aluminium med legering 6082.

Prøve	Sjiktdannelse	Overflatesjikt	Farge på elektrolytt
1	Ja	Lysgrå og matt	Blank
2	Nei	Rosa og blå, blank	Blå
3	Ja	Lysgrå og matt	Oransje
4	Ja	Lysgrå og matt	Blank
5	Ja	Mørkgrå og matt	Blank

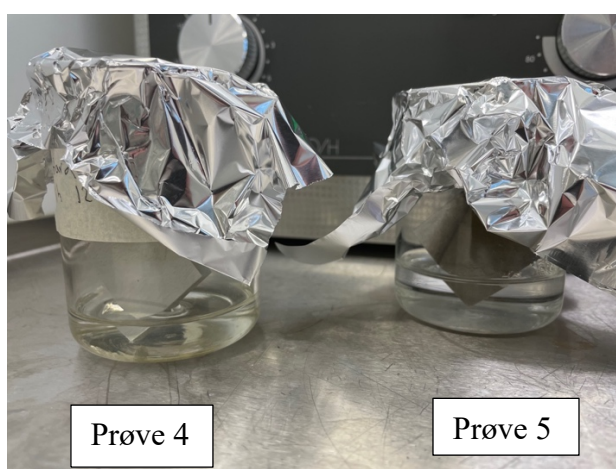
4.2 Destruktive og ikke-destruktive tester

4.2.4 Kompatibilitet med hydrogenperoksid og passivisert aluminium med legering 6082-T6

Prøvene tilsatt i hydrogenperoksid for å teste kompatibilitet ble observert visuelt for å se i hvor stor grad disse reagerer. Dette kunne sees ved gassdannelse fra oksyngengass som produkt i dekomponeringen. Figur 22 viser kompatibiliteten med prøve 1 i passivering ved salpetersyre. De anodiserte prøvene ble også testet for kompatibilitet, resultat fra prøve 4 og 5 vist i Figur 23. Det ble observert gassdannelse fra aluminiumsprøvene for begge passiveringsmetodene.



Figur 22: Figuren viser hydrogenperoksid tilsatt til prøve 1 passivisert med salpetersyre.



Figur 23: Figuren viser visuelt gassdannelse fra anodiseringsprøve 4 og 5 tilsatt hydrogenperoksid.

For å kunne sammenligne med et mer reaktivt metall ble en ubehandlet kobberprøve tilsatt hydrogenperoksid. Resultatet av dette er vist i Figur 24.



Figur 24: Figuren viser en kobberbit tilsatt hydrogenperoksid for å observere grad av gassdannelse.

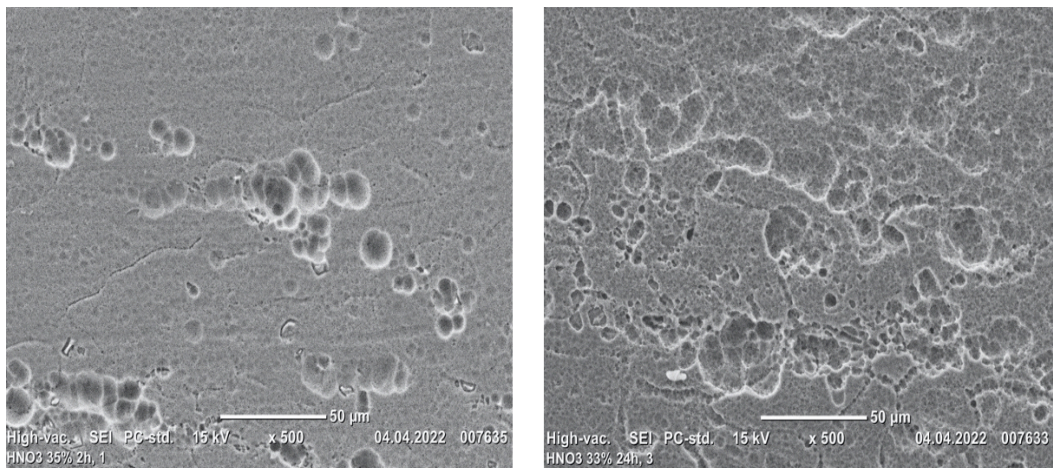
Det ble også utført målinger av hydrogenperoksid sin påvirkning på materialet. Dette ble gjort ved å veie prøvene. Resultatene fra denne kompatibilitets testen er vist i Tabell 16. Denne inneholder de oppmålte verdiene til prøvene før tilsatt hydrogenperoksid, rett etter testen, og etter vasking av prøvene etter hydrogenperoksid. Den viser også differansen mellom vekt før og vekt etter kontakt med hydrogenperoksid. I prøvene med salpetersyre ble hele prøven tilsatt løsningen, mens ved testing av de anodiserte prøvene ble bare rundt 20% satt i kontakt med hydrogenperoksid. For de fleste prøvene har de redusert i vekt etter test med hydrogenperoksid. Derimot har anodiseringsprøve 3, 4, og 5 økt i vekt både etter testen og etter vask.

Tabell 16: Tabellen inneholder målt masse av prøvene fra kompatibilitetstesten før tilsatt, etter testen, differansen mellom disse, og etter vasking av de ferdig testede prøvene.

Prøve	Vekt før H ₂ O ₂ [g]	Vekt etter H ₂ O ₂ [g]	Differanse [g]	Masse etter vasking etter H ₂ O ₂ [g]
Salpetersyre Prøve 1	14,4108	14,4100	-0,0008	14,4102
Salpetersyre Prøve 2	14,3654	14,3636	-0,0018	14,3648
Salpetersyre Prøve 3	14,3641	14,3458	-0,0183	14,3469
Salpetersyre Prøve 9	14,4248	14,4212	-0,0036	14,4241
Anodisering Prøve 1	14,3766	14,3756	-0,0010	14,3762
Anodisering Prøve 2	14,3967	14,3958	-0,0009	14,3963
Anodisering Prøve 3	14,0846	14,0852	0,0006	14,0852
Anodisering Prøve 4	13,9385	13,9403	0,0018	13,9397
Anodisering Prøve 5	14,2346	14, 2446	0,01	14,2432

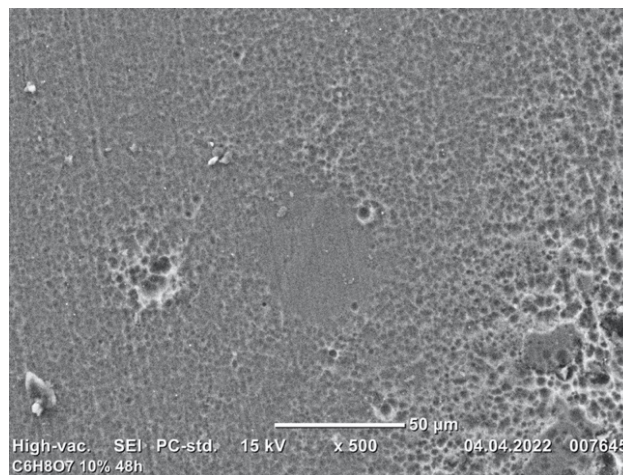
4.2.1 SEM og lysmikroskop

Alle de passiverte prøvene, samt en slipt, og en vasket, rensset og picklet prøve ble tatt bilde av på SEM. Bildene viser topografien til materialet tatt ved bruk av SE signaler. Alle bildene illustrert er tatt med samme forstørrelse. Figur 25 (a) og (b) viser SEM bilde av prøve 6 og 1 ved passivering med salpetersyre. Bildene fra de resterende prøvene med salpetersyre er alle relativt like. Disse kan sees i vedlegg B.



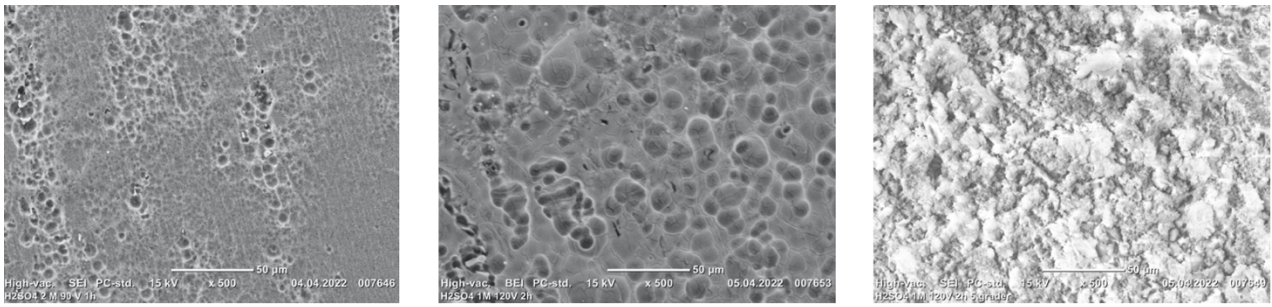
Figur 25: Figur (a) og (b) viser SEM bilde fra henholdsvis prøve 6 og 1 fra passivering med salpetersyre.

Ved passivering med sitronsyre, viser bildene tatt med SEM mange likhetstrekk, der de var veldig inkonsekvente i oksidsjiktet. Et eksempel fra prøve 2 er vist i Figur 26. De resterende prøvene kan sees i vedlegg B.



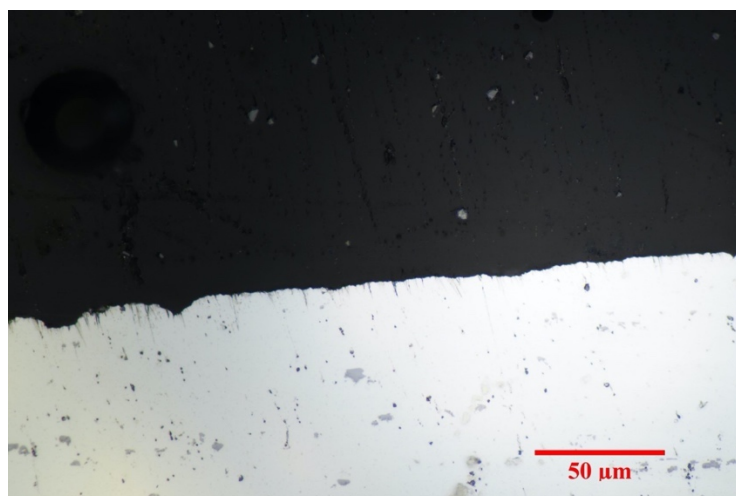
Figur 26: Figuren viser SEM bilde av prøve 2 ved passivering med sitronsyre.

Det ble derimot et mer varierende resultat ved anodisering med svovelsyre. SEM bilde av prøve 2, 4 og 5 kan sees i henholdsvis Figur 27 (a), (b), og (c). Vedlegg B inneholder bildene fra de utelukkede prøvene.



Figur 27: Figur (a) viser bilde av prøve 2 med SEM, (b) viser bilde fra prøve 4, og (c) viser SEM bilde av prøve 5, alle anodisert med svovelsyre.

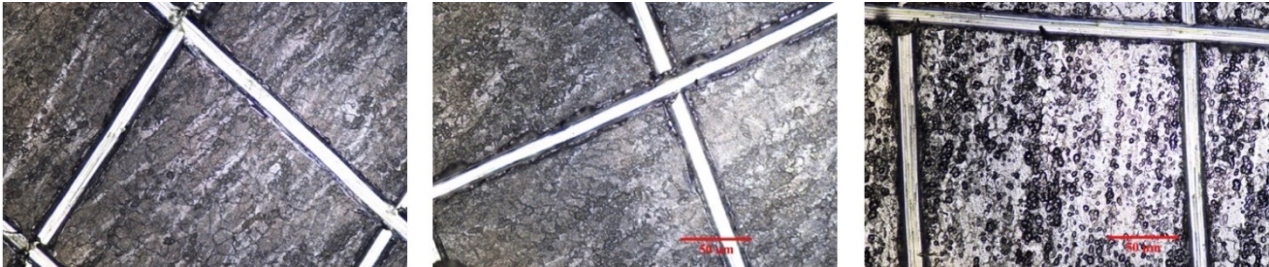
For å identifisere og måle sjiktet som var dannet ble SEM og lysmikroskop brukt. SEM apparatet og lysmikroskopet brukt i dette forsøket har samme forstørrelse, som gjorde det mulig å velge mellom disse for å observere eventuelle sjikt. For identifisering av sjiktet på prøve 1 ble begge apparatene brukt. Det ble også testet på ferdig passivert prøve sendt fra Nammo. Bilde av dette med lysmikroskop er vist i Figur 28. Denne viser at det ikke var mulig å se et dannet sjikt på overflaten av aluminiumen.



Figur 28: Figuren viser lysmikroskopbilde av tverrsnitt av prøve sendt av Nammo passivisert med salpetersyre.

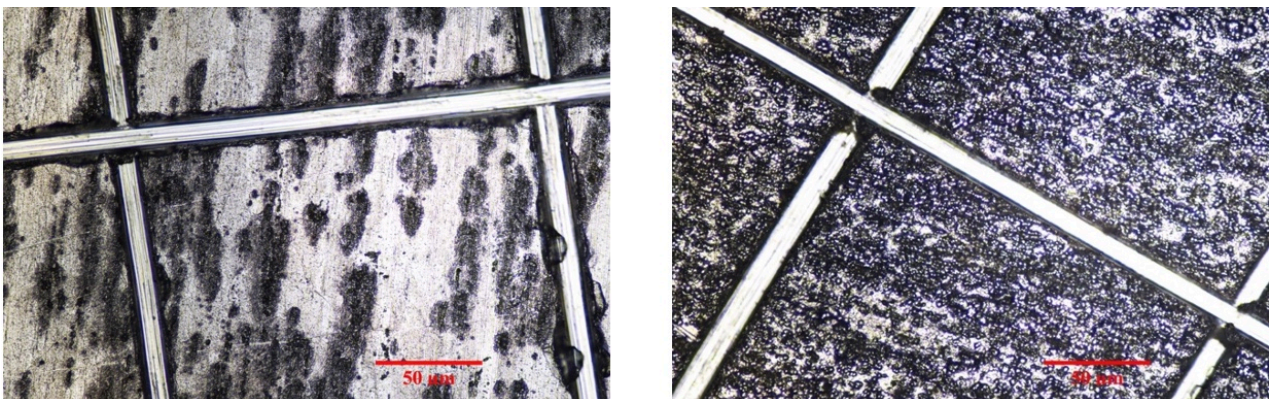
4.2.2 Cross-hatch Cutter testmetode

Figur 29 viser lysmikroskopbilder av prøvene som ble passivisert med salpetersyre, og testet med Cross-hatch Cutter. Resultatet fra denne testen kan klassifiseres og analyseres ved hjelp av vedlegg D.



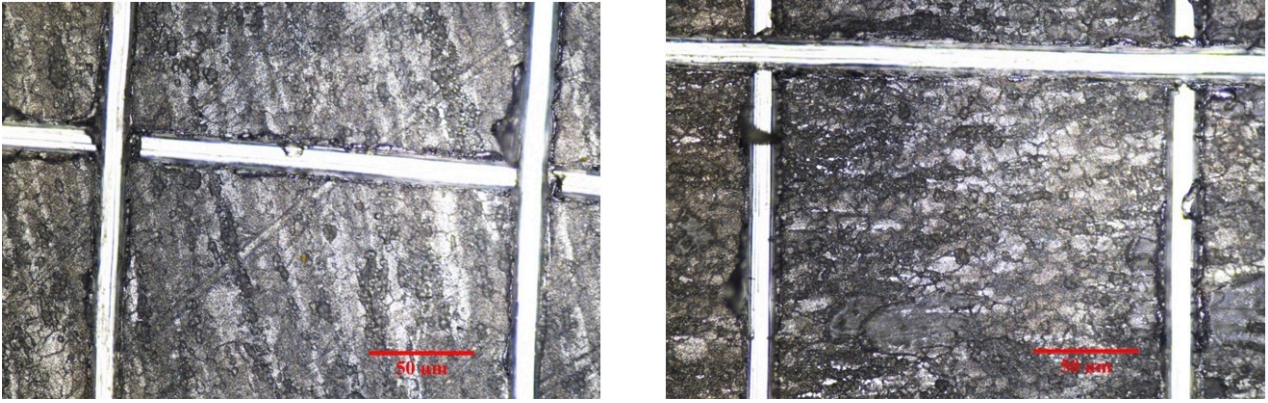
Figur 29: Figuren viser bilder fra lysmikroskop av utført Cross-hatch Cutter test på prøve 1 (a), 4 (b) og 7 (c), passivisert med salpetersyre.

Cross-hatch Cutter ble også utført på prøve 1 og 4, som ble anodisert med svovelsyre. Disse to bildene er vist i Figur 30.



Figur 30: Figuren viser lysmikroskopbilder etter Cross-hatch Cutter test på anodiseringsprøve 1(a) og 4(b).

Etter prøvene, passivisert med salpetersyre, hadde vært utsatt for hydrogenperoksid i en uke ble disse også testet med Cross-hatch Cutter. Bilder av prøve 1 og 2 er vist i Figur 31.



Figur 31: Figuren viser lysmikroskopbilder etter Cross-hatch Cutter test på prøve 1 (a) og 2 (b), passivisert med salpetersyre, etter kontakt med hydrogenperoksid.

Resten av bildene fra alle testene med Cross-hatch Cutter er lagt i vedlegg C. Tabell 17 viser klassifiseringsresultatet fra Cross-hatch Cutter på prøvene anodisert med svovelsyre og prøvene passivisert med salpetersyre, både før og etter kontakt med hydrogenperoksid.

Tabell 17: Tabellen viser klassifisering av resultater etter Cross-hatch Cutter på prøver passivisert med salpetersyre, både før og etter kontakt med hydrogenperoksid, og anodiserte prøver med svovelsyre. Ved bruk av vedlegg C.

Passiviseringsmetode	Prøve	Klassifisering
Passivisert med salpetersyre	1	0-1
	2	1
	3	1
	4	1
	5	1
	6	1
	7	1
	8	1
	9	1
Anodisert med svovelsyre	1	1
	2	1
	3	1
	4	1
	5	1
Passivisert med salpetersyre, etter kontakt med hydrogenperoksid	1	1-2
	2	1-2
	3	1
	9	1

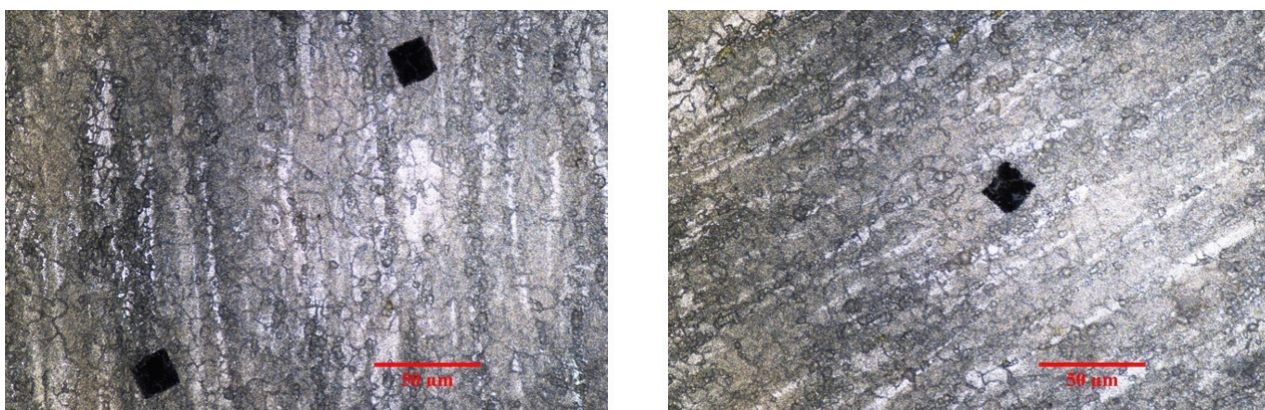
4.2.3 Vickers hardhetstest

Tabell 18 viser gjennomsnittsmålingene gjort på Vickers hardhetstest. Vickers hardhetstest utført på resten av prøvene passivisert i salpetersyre er vist i vedlegg E.

Tabell 18: Tabellen viser gjennomsnittsmålingene gjort på Vickers hardhetsmåler for prøvene 1, 3, 5, 6 og 9 passivisert med salpetersyre.

Prøve	HV [-]
1	114,92
3	116,29
5	108,41
6	116,33
9	113,96

Figur 32 viser lysmikroskopbilder av ferdig resultat etter Vickers hardhetsmåler av prøve 1 og 2, passivisert med salpetersyre. Det ble utført tre målinger for hver av prøvene. Prøve 1 viser to av avtrykkene på bildet, mens prøve 2 viser bare ett avtrykk. Resten av bildene av prøvene er vist i vedlegg C.



Figur 32: Figuren viser lysmikroskopbilder etter utført Vickers hardhetsmåling av prøve 1 (a) og 2 (b), passivisert med salpetersyre.

5. Diskusjon

Dette kapittelet er kategorisert i delkapitler med lik inndeling som resultatkapittelet.

Innledningsvis diskuteres de ulike passiveringsmetodene og resultatene fra disse. Deretter drøftes resultatene fra de utførte destruktive testene og ikke-destruktive testene. Kapittelet avsluttes med anbefalinger for videre forskning fra de omhandlende temaene.

5.1 Passivering med salpetersyre som passiveringsmetode på aluminium med legering 6082-T6

Passivering med salpetersyre er en passiveringsmetode som ofte benyttes i industrien, og det er denne metoden Nammo bruker i dag som standard. Denne metoden er en passivering med 33% salpetersyre i 24 timer og er også brukt i dette forsøket. Ulike passiveringsmetoder er utviklet ut ifra denne, med justeringer av parameterne konsentrasjon og tid. Endringer er også utført for pickling med samme passiveringsmetode i to av forsøkene. I tillegg ble en av prøvene slipt før passivering ved bruk av standard metode for Nammo.

Kobbertråd er anvendt som instrument for opphenging av prøvene. Kobber løses opp i høye konsentrasjoner av syrer, slik som salpetersyre og svovelsyre. (Pedersen, 2021) Derfor var ikke bruk av kobbertråd en god løsning. I syren, med den oppløste kobbertråden resulterte det til et fargeomslag fra blank til blått, vist i Figur 12. Dette er et resultat av kobberioner i løsningen fra spaltingen av tråden. Spalting av kobber til kobberioner skjer ifølge spenningsrekken spontant, ettersom reduksjonspotensialet mellom disse har en positiv verdi. Opphengerverktøyet ble derfor endret til aluminiumsfolie. Aluminiumen, vil istedenfor å oppløses i syren selv, bli passivert slik som prøven tilsatt. Det var mulig å se på folien etter passiveringen at det var dannet et sjikt på overflaten, som trolig var aluminiumoksid. Det ble også observert at noe av folien som var i kontakt med syren var oppløst. Aluminium vil i kontakt med høy konsentrasjon av salpetersyre kunne løses opp. Dette gjelder spesielt hvis materialet er i tynne skiver, slik som folien brukt i forsøket er. Oppløsningen blir derimot retardert i tykkere plater med aluminium, slik som prøvene som blir passivert. (Stillman, 1897)

Nylontråd for opphengingen ble også testet ut. Det viste seg at nylon raskt løste seg opp i salpetersyren. En tråd av en mer inert polymer, slik som teflon, kunne vært et bedre alternativ her. Platinatråd var også en mulighet til bruk som oppheng.

Det ble også observert en krystalldannelse på delen av aluminiumsfolien som ikke var i kontakt med syren. Aluminium kan i kontakt med oksygen og vann danne krystaller av aluminiumoksid og/eller aluminiumhydroksid. Dette kan ansees som en type korrosjon, men oppstår mye tykkere enn et vanlig oksidsjikt. Tykkelsen kan komme fra at denne typen oksid- eller- hydroksidsjikt kan assimilere væske. Kapillær stigning på aluminiumsfolien kan være en årsak til dannelsen av krystallene langs folien. Dette kan også være et resultat av vanndamp fra løsningen.

Som observert i Figur 13 oppsto det en gul-grønn farge i løsningen med den høyeste konsentrasjonen av salpetersyre. I reaksjonen med aluminium blir salpetersyre redusert til NO_2 , vist i reaksjonsligning 2.5.1.2. NO_2 løst i en høy konsentrasjon med salpetersyre vil gi en karakteristisk gul farge. (Doubtnut, 2022) Ettersom molekylet oppstår naturlig i reaksjonen kan dette være årsaken til løsningens gule farge. Denne reduseringen av salpetersyre i løsningen kan bidra til et fall i konsentrasjonen til syren. Resulterende blir det usikkerhet i hvilken konsentrasjon passiveringen har foregått i. Det kan se ut til at løsningen også inneholder skjær av en grønn farge. 6082 aluminiumlegering inneholder små mengder kobber og sammen med salpetersyre kan det oksideres til kobberioner. Disse danner en blå farge. Blå og gul kombinert vil gi en grønn farge, som gjør at de vil kunne visualiseres som en grønn farge i den allerede gule løsningen. Det er trolig den høye konsentrasjonen på prøve 9 som har forårsaket fargeomslaget, ettersom dette ikke har oppstått på noen av prøvene med lavere syrekonsentrasjon.

I industrien er det ettertraktet å ha en metode som er mest mulig effektiv og som samtidig danner et godt og beskyttende passiveringssjikt. Som vist i Figur 15 er tiden til passiveringen viktig for å danne et fullstendig sjikt som dekker hele prøven, der det kan gi uttrykk for at prøven passivert i 2 timer har et ufullstendig sjikt. Ved bruk av SEM kan dannelsen av aluminiumoksid observeres. Den gir ingen klassifisering av kvaliteten til sjiktet, men brukes til å identifisere dannelsen. Resultatene med SEM fra de ulike prøvene har store likhetstrekk, vist i vedlegg B. Som Figur 25 viser, er det derimot mulig å se en distinkt forskjell mellom prøve 6 og 1. På prøven passivert i to timer kan det observeres mindre dannelsen av aluminiumoksid på overflaten sammenlignet med prøven passivert i 24 timer. Passiveringstid kan ut ifra dette betraktes som en viktig faktor for å danne et godt passiveringssjikt. For å optimalisere dette slik at metoden blir best mulig for industrien må det analyseres for å avklare om økt tid vil gi et bedre sjikt, selv etter at det er dannet et godt sjikt etter for eksempel 24 timer. I tillegg må økningen i kompatibilitet være stor nok til å forsvare tidsforbruket.

Resultatene tyder på at passivering med salpetersyre er en god passiveringsmetode for dannelse av beskyttende aluminiumoksid. Sjøktet oppstått blir med tid fullkommen rundt hele overflaten. For å videre bestemme om passiveringssjøktet er tilstrekkelig, må kompatibiliteten med hydrogenperoksid og fysiske egenskaper testes.

Måling av tykkelsen til det etablerte sjøktet ble testet på salpetersyrepassivert prøve 1 og ferdig passivert prøve fra Nammo. Det ble ikke observert noe sjøkt med bruk av SEM og lysmikroskop. Årsaken til dette er trolig at det er for tynt til å kunne identifiseres med bruk av disse instrumentene. Bildet dannet med signalene fra SEM var med for lav oppløsning, og de ble skiftene og uklare. Damp fra EpoFix brukt til å støpe inn prøvene, kan ha forstyrret signalene som sendes til mottakeren, og er trolig hva som har skjedd i dette forsøket. Gjennom støpningen kan de ha kommet til vann i EpoFix'en, noe som gjør den mer flytende og derfor lettere å fordampe.

5.2 Passivering med sitronsyre som passiveringsmetode på aluminium med legering 6082-T6

Å passivere med sitronsyre ble også testet i dette forsøket. Målet var å undersøke om det var mulig å danne et sjøkt, og eventuelt om denne metoden ga en bedre passivering mot hydrogenperoksid.

Resultatene fra dette forsøket indikerer at passivering med sitronsyre ikke er en gunstig metode for å passivere aluminiumslegeringen 6082. Som kan sees i Figur 16 ble oksidsjøktene dannet meget inkonsistente, der det flere felt på prøvene ikke er med noe sjøkt. Figuren viser også påvirkningen av endring i konsentrasjon og tid. I prøvene der tiden økte fra 24 til 48 timer med samme konsentrasjon, sees det ikke noen tydelig endring. Det kan se ut til at passiveringen med 24 timer, har dannet mer aluminiumoksid på overflaten enn ved 48 timer. Ved øking i konsentrasjon fra 10% til 45% sitronsyre med samme tid ble prøven en del dårligere passivert.

SEM bilder fra passivering med sitronsyre viser, i likhet med de visuelle resultatene, at det ikke har blitt dannet betydelig aluminiumoksid. I Figur 26 kan dette observeres. Som figuren viser har det oppstått mer oksidasjon i noen områder enn andre. Årsakene til ujevnheten på overflaten, kan komme fra seksjoner med ulike konsentrasjoner av syre i løsningen. Områder mer utsatt for syren, kan ha blitt mer passivert enn andre områder. Dette kunne for eksempel blitt løst ved bruk av en magnetrører.

Tiden vil påvirke oksidasjonens tid til å dannes på overflaten av aluminiumsprøven. Lengre passiveringstid vil derfor kvantitativt øke oksidsjiktet. (Tsangaraki-Kaplanoglou et al., 2006) Resultatene fra økt passiveringstid var derfor uforventet, ettersom 48 timer ikke ga bedre sjikt enn for 24 timer. Aluminiumoksid løses i syrer, og det kan virke som at reaksjonen mellom oksidet og sitronsyren kommer i en slags likevektssituasjon etter en bestemt tid. Dannelsen på overflaten kan også ha stoppet hvis all reagerende sitronsyre er brukt opp. Det kan eksistere en optimal konsentrasjon av syren, der høyere konsentrasjon ikke vil ha noen effekt. I noen tilfeller kan det også ødelegge eller gi dårligere resultater. (Laorie et al., 2006) Fra forsøkene utført med sitronsyre, kan det se ut til at økning av konsentrasjonen til syren ikke er gunstig for å danne et oksidsjikt.

Bruken av sitronsyre til kjemisk passivering er mer brukt som løsning til bevaring av rustfritt stål. (Browning, 2019) Utførte forsøk testet om syren også er gunstig for passivering av aluminium. Resultatene indikerer på at sitronsyre ikke er egnet som løsning i kjemisk passivering. Som beskrevet i teorien kan sitronsyre bli brukt som elektrolytt i anodisering. Dette kan være et bedre bruksområde for denne syren, der den er i tillegg er mer miljøvennlig enn de nå anvendte syrene. (Jose Cabral-Miramontes, 2021)

5.3 Anodisering med svovelsyre som passiviseringsmetode på aluminium med legering 6082-T6

Fem parallelle forsøk for anodisering med svovelsyre som elektrolytt, og med forskjellige parametere innenfor tid, konsentrasjon og temperatur ble utført. Det viste seg at spenningskilden som var benyttet til prøve 2-5 var defekt, og det var ingen tilgang til andre strømkilder. Spenningskilden ga en lavere spenning enn forventet. Det var opprinnelig tiltenkt 90 V på prøve 2, mens 120 V på prøve 3-5. Den faktiske spenningen er oppgitt i Tabell 11.

Klypen til aluminiumselektroden reagerte med løsningen i prøve 2 og 3, som vist i Figur 18 (a) og Figur 19 (a). På grunn av dette, ble ikke hele prøve 4 og 5 lagt i løsningen, og kun ca. 90% av prøven ble passivisert. Det ble også laget en aluminiumshempe på prøve 4 og 5, for å unngå kontakt mellom klypa og svovelsyren. Et eksempel er vist i Figur 20 (b).

Prøve 1, som er vist i Figur 17, ble anodisert med en spenning på 30 V i romtemperatur. På katoden har det skjedd en reduksjon og hydrogengass ble observert under elektrolysen. Reaksjonen er vist i ligning 2.2.7 (Halmøy, 2018). Det er en synlig sjiktdannelse på prøve 1 som

vist i Figur 17 (b). Før anodiseringen var prøven blank, mens etter var prøven mer matt i fargen. Fargen er lysgrå, som kan indikere at sjiktet er nokså tynt. Anodisering ved romtemperatur gir et mer porøst, mykt og tynnere sjikt enn ved lavere temperaturer (Grubbs, 1999). Årsaken er fordi oppløsningen av oksidsjiktet i løsningen vil øke med temperaturen. Prøve 1 ble anodisert over en tidsperiode på 1,5 time, noe som kan være en grunn til at sjiktet kan observeres som nokså tynt, siden en lengre anodiseringstid vil gi et tykkere sjikt. Spenning er også en viktig faktor for å skape et tykt sjikt. Prøve 1 ble kun utført med en spenning på 30 V, som er en grunn til et tynt sjikt.

Figur 18 (a) viser elektrolytten som er blå etter anodisering av prøve 2. Det ble også observert svarte biter i bunnen av løsningen. Ved hardanodiseringen var hele klypen til anodelektroden under svovelsyreløsningen. På grunn av den sterke blåfargen som elektrolytten utviklet, er det mistanke om kobber. Konklusjonen er dermed at klypen inneholder kobber og har trolig reagert med elektrolytten. Kobberoksid reagerer nemlig med svovelsyre og danner kobbersulfat, som gir en klar blåfarge. En annen teori kunne vært kobberforurensningen i legeringen 6082, men det er for lav konsentrasjon til å kunne gi en så sterk blåfarge. Kobberoksid er svart når det er i fast form. De svarte bitene i bunnen av begerglasset kan dermed muligens være fast kobberoksid (E. Nastoulis, 2017). Det er nesten ikke mulig å se et sjikt på prøve 2, som vist i Figur 18 (b). Prøven er fortsatt blank, men det er en liten endring i fargen. Det kan observeres en blå og rosa farge på overflaten. Dette er mest sannsynlig fra reksjonen med klypa. SEM bilde av prøve 2 er vist i vedlegg B. Her er det tydelig at sjiktet ikke er fullstendig, da det kan observeres lite dannelse av oksid på overflaten.

Figur 19 (a) viser den oransje fargen på løsningen etter 1 time anodisering med svovelsyre for prøve 3. Det ble i dette forsøket brukt en aluminiumshempe for å unngå kontakt mellom elektrolytten og klypa. Klypa fikk derimot litt av løsningen på seg, og klypen er derfor grunnen til den oransje fargen. Det usikkert hva i klypen som har reagert, men det ble observert en rosa løsning fra klypa. Det er også mulig å observere på (a) at det er dannet et oransje sjikt på overflaten. Etter vasking og tørking av prøve 3, vist i Figur 19 (b,) var det oransje sjiktet borte. Litt av prøven ble ikke passivisert og skillet mellom passivisert og ikke passivisert er mulig å observere i figur (b). Det er tydelig en endring i materialet, da prøven har endret farge til lysgrå og den er matt. SEM bilde av prøve 3 er vist i vedlegg B. Overflaten er tydelig dekket med et oksidsjikt, men med klypa som har reagert med elektrolytten sammen med defekt spenningskilde, er det usikkert om hvor godt dette sjiktet er.

Selve anodiseringsprosessen av prøve 4 er vist i Figur 20 (a), mens ferdig resultat er vist i (b). Det er observert krystalldannelse på aluminiumshempen. Reaksjonen som har skjedd her, er den samme som for aluminiumsfolien, og er forklart i kapittel 5.1. Det er tydelig endring på overflaten ved at den er mer matt i fargen. Det er også tydelig dannelse av oksid på overflaten, som kan observeres på SEM bilde vist i vedlegg B. Klypen har ikke reagert med elektrolytten og er dermed ikke en faktor som ødelegger forsøket. Det er derfor kun defekt spenningskilde, som påvirker resultatet.

Prøve 5 vist i Figur 21 ble hard anodisert. Hardanodisering skjer ved høy syrekonsentrasjon, lav temperatur og høy spenning. Disse faktorene fører til et tett, hardt og slitesterkt oksidsjikt. (Grubbs, 1999) Overflaten er tydelig endret og fått en mørkegrå farge. Denne prøven har det mørkeste og tydeligste sjiktet av alle prøvene gjennom hele forsøket. Den mørke gråfargen kan forklares ved at den porøse overflaten øker oksidsjiktets egenskap til å absorbere lys. Tykkere sjikt vil gi mørkere farge. Det var ikke mulig å dekke hele prøven med elektrolyttløsning uten at klypa fikk kontakt med elektrolytten. (b) viser tydelig skille mellom passivisert og ikke passivisert overflate.

Prøve 4 vist i Figur 20 er ut ifra visuelle observasjoner av overflaten det beste resultatet fra anodiseringsmetoden. Spenningskilden var ustabil, og siden spenning er en viktig faktor for et godt sjikt kan det ha bidratt til et dårligere resultat enn ønsket. Det kan også indikere at endring i konsentrasjon ikke har hatt så stor innvirkning for denne metoden.

5.4 Kompatibilitet test med hydrogenperoksid og aluminium med legering 6082-T6

Det er en rekke metoder som kan benyttes for å måle kompatibilitet med hydrogenperoksid. Titrering med en løsning av kaliumpermanganat er en metode for å måle konsentrasjonen til hydrogenperoksid. (Evonik, 2020) Ved å analysere forandring i konsentrasjonen, vil en kunne måle dekomponeringen kvantitativt. Endring i pH over tid kan også være en mulighet for kvantitativ måling av konsentrasjon. Denne metoden forutsetter at løsningen av hydrogenperoksid ikke har tilsats av surhetsregulerende stoffer, noe som er vanlig. Visuelle overvåkinger av gassdannelse i løsningen er en metode for analysering av dekomponeringen. Med denne metoden kan reaksjonen kvalitativt observeres, i tillegg er det mulig å estimere og sammenligne forskjellen i gassdannelse hos de ulike materialene. Det er denne metoden som er brukt i dette arbeidet for, å måle effekten av de passiverte prøvene på hydrogenperoksid. For måling av påvirkning fra hydrogenperoksid på materialet ble prøvene veid før og etter kontakt med hydrogenperoksid.

Denne metoden kan påvise reaksjon på prøven, og gi antydning på hva som skjer på overflaten av materialet. Grunnet mangel på hydrogenperoksid ble noen selekterte prøver testet, der kun de mest interessante ble valgt ut. Disse er presentert i Tabell 16.

Figur 22 viser dannelse av oksyngass i hydrogenperoksid som er i kontakt med salpetersyrepassivert aluminium. Dette er vanskeligere å identifisere i Figur 23, som inneholder anodisert prøve i hydrogenperoksid. En årsak til dette kan innebære mengden av løsningen som ble tilsatt prøven, hvor bare en liten del var i kontakt med materialet. I tillegg er gassdannelsen lite egnet til å se ut ifra bilder, siden bilde ikke illustrerer bevegelsen til oksyngassen. For å kunne sammenligne med et teoretisk reaktivt material ble en kobberbit (Baldrige & Villegas, 2002) tilsatt samme konsentrasjon av hydrogenperoksid analysert, resultat vist i Figur 24. Det oppsto her en høyere gassdannelse enn ved de passiverte prøvene.

Kompatibiliteten til hydrogenperoksid for prøvene passivert med salpetersyre var relativt ensartet for samtlige av prøvene. Dette var prøver hvor alle hadde dannet et komplett sjikt rundt hele prøven. Det var antydninger til en lavere dekomponering i prøve 1. Endringer for parametere for pickling ble testet, der prøve 1 var picklet i 0,5%, mens prøve 2 i 5%. Det ser ut til at pickling med 0,5% var mest gunstig. Denne differansen mellom prøvene er ikke nok til å fastslå en bedre bevaring med denne passiveringsmetoden. Ved kvantitative analyser av mengden hydrogenperoksid, kunne dette gitt et bedre beslutningsgrunnlag med hensyn til mest gunstige passivering.

Gassdannelsen i løsningen oppbevart med de anodiserte prøvene er varierende. Prøve 5, vist i Figur 23, gir inntrykk av å ha katalysert reaksjonen hyppigst, hvor oksyngass oppsto betraktelig mer i væsken. Passiveringen i prøve 4 ga den beste kompatibiliteten av de anodiserte prøvene. Her ble det observert lite gassdannelse sammenlignet med resten av prøvene. Forurensinger og oppløste stoffer i væsken kan katalysere dekomponeringen av hydrogenperoksid. Fargeomslag i løsningene kan være et resultat av slike uvedkomne molekyler i væsken. Hvis integrert i det dannede sjiktet vil disse kunne øke katalysen av reaksjonen. (Davis et al., 2005) Som vist i resultatet og Figur 20 var forsøket på prøve 4 det mest vellykkede, hvor det ikke oppsto fargeomslag i løsningen eller oppsto uventede farger i sjiktet.

Urenheter på overflaten eller i beholder kan ha bidratt til en høyere dekomponering av peroksidet. (Davis et al., 2005) Å vaske prøve og begerglass før testen kan hindre katalysen fra forurensinger. Det ble ikke utført gjennom dette forsøket, noe som kan ha påvirket resultatene. I tillegg kan

mengde forurensinger også variere mellom de ulike prøvene, noe som kan gi villedende resultater. Det er viktig at alle prøvene har samme forhold og startpunkt ved slike sammenligningstester. Vasking før kompatibilitet test vil gi samme utgangspunkt for testene.

Kompatibiliteten til materialet i hydrogenperoksid ble analysert etter en uke. For de fleste prøvene ble massen redusert etter en uke i kontakt med hydrogenperoksid, der prøve 1 har en lavest reduksjon, vist i Tabell 16. Massetapet kan være et resultat fra erosjon på sjiktet fra løsningen, hvor metallpartikler fra overflaten kan ha blitt løst opp i hydrogenperoksid. Dette er et mål på kvaliteten til oksidsjiktet, hvor reduksjon av masse ikke er ønskelig. Påstanden kunne bli underbygd med observasjon av partikler i bunnen av løsningen med hjelp av for eksempel mikroskop. Som vist i Tabell 16 var dette ikke tilfellet for anodiserings prøve 3, 4, og 5, hvor vekten på prøvene økte etter kontakt med hydrogenperoksid. Den største økningen var i prøve 4, der massen økte med 0,01 gram. Blir aluminiumsprøven videre oksidert av hydrogenperoksid vil de adderte oksygenatomene øke massen til prøven. Oksideringen kan være en årsak til økt vekt. Dette er en indikasjon på at det dannede passiveringssjiktet ikke er ideelt i kontakt med hydrogenperoksid. Før innveiningen ble samtlige prøver tørket i tørkeskap så tørre ut. Hvis tatt ut av varmeskapet for tidlig kan ulik fuktighet på prøvene ha innvirkning på vekten.

Mengden av prøvene tilsatt løsningen i de ulike passiveringsmetodene, beskrevet i resultatet, gjør at endringen i masse ikke vil være sammenlignbart mellom prøvene fra de to metodene. Testen gir derimot indikasjoner på reaksjoner forekommet mellom de to komponentene.

Ved passivering med salpetersyre er det gitt antydning til at prøve gir best bevaring mot hydrogenperoksid. I tillegg til å ha minst endring i masse, ble det også minst katalysering av dekomponeringen til peroksidet. For anodisering med svovelsyre ble prøve 4 den mest ideelle mot spalting av hydrogenperoksid. Den var derimot ikke prøven med minst endring i masse. Det kunne visuelt observeres at prøve 5 forårsaket mye gassdannelse i løsningen, og var ifølge vekten sterkt påvirket av hydrogenperoksid.

5.5 Cross-hatch Cutter som DT metode for kvalitetssikre passiveringssjikt

Skjæreverktøyet Cross-hatch Cutter ble utført på prøvene passivisert med salpetersyre, før og etter kontakt med hydrogenperoksid, og for prøvene anodisert med svovelsyre. Vedlegg D ble brukt for å klassifisere sjiktene. Oversikt over resultatet er vist i Tabell 17.

Figur 29 er lysmikroskopbilder av utført Cross-hatch Cutter test på prøve 1, 4 og 7, som ble passivisert med salpetersyre. Prøve 1 og 4 er nokså like, mens prøve 7 har en annerledes overflate. Det er også en forskjell mellom prøve 1 og 4, ved at prøve 4 har blitt mer påvirket av skjæreverktøyet. Dette kan observeres langs gittermønsteret og i gitterkrysset, hvor deler av sjiktet er løsrevet. Prøve 1 er klassifisert mellom 0-1, siden det er lite synlig ødeleggelse i sjiktet. Prøve 4 har derimot en del ødeleggelse i sjiktet langs gittermønsteret og i gitterkrysset og kan dermed klassifiseres som 1, siden det ikke er mer enn 5 % av sjiktet som er påvirket (Equipment).

Overflaten til prøve 1, anodisert med svovelsyre, er lysgrå med noen mørke flekker. Prøve 4 (b) har en jevnere og mørkere overflate, men det er også her en del flekker. Disse flekkene er derimot mye mindre og tettere. Deler av sjiktet på prøve 1 og 4 langs gittermønsteret er løsrevet, som kan observeres i Figur 30 (a) og (b), og derfor er de klassifisert som 1. Lysmikroskopbilde av Cross-hatch Cutter test på prøve 5 er vist i vedlegg C. Hardanodiseringen ga et tykt og mørkt sjikt. På grunn av dette var det vanskelig å skjære i. Det indikerte at sjiktet er mye hardere enn de andre prøvene (Equipment). Det var kun denne prøven hvor utførelsen av Cross-hatch Cutter var utfordrende.

Det er en tydelig endring i sjiktet etter prøvene passivisert med salpetersyre hadde vært i kontakt med hydrogenperoksid i en uke. Prøve 1 og 2 er vist i Figur 31. Det er tydelig mer løsrivelse av sjiktene langs gittermønsteret og i gitterkrysset, enn uten å ha vært i kontakt med hydrogenperoksid, som vist i Figur 29. Det er fortsatt ikke store utslag på løsrivelsen, men det kan observeres en endring fra før kontakt med hydrogenperoksid. Det betyr at oksidsjiktet til prøvene reagerer med hydrogenperoksid og gjør sjiktet mindre slitesterkt.

Det kan konkluderes ut fra alle disse testene med Cross-hatch Cutter, at dette kan være en egnet metode for å analysere om sjiktet er tilstrekkelig slitesterkt eller ikke. Det er også en god metode for å analysere endring i sjikt etter kontakt med hydrogenperoksid. En ulempe med denne testmetoden er at det er en DT metode, som ødelegger prøvene. (C. Albano, 2005)

5.6 Vickers hardhetstest som kvalitetsmåling for sjikt

Vickers hardhetsmåler er en metode for å undersøke hardheten til et metall eller metallens overflatesjikt. Hardhet er definert ved materialets evne til å motstå plastisk deformasjon. (S. Kaan Gurel, 2019) Gjennomsnittet av prøve 1, 3, 5, 6 og 9 passivisert med salpetersyre er vist Tabell 18. Resterende resultat er vist i vedlegg E.

Alle prøvene har nokså lik hardhet, men prøve 5 ligger litt under de andre prøvene. På grunn av at sjiktet på prøvene er nokså tynne, vil ikke Vickers hardhetsmåler være en god målemetode. Den vil mest sannsynlig måle materialets hardhet og ikke passiveringssjiktets hardhet. Alle testene ble tatt bilde av med lysmikroskop, et eksempel er vist i Figur 32 og resten av bildene er vist i vedlegg C.

En mulig metode er å se om det er noen sprekker der avtrykkene er utført på prøven. Ingen av prøvene fikk påvist sprekker fra avtrykkene. På grunn av alle faktorene, konkluderes det dermed at Vickers hardhetsmåler ikke er en egnet metode for å undersøke sjiktdannelse, sjikt styrke eller holdbarheten på sjiktet.

5.7 Sammenligning av de ulike passiveringsmetodene

Tiden en passivering tar vil være en stor faktor å optimalisere innen industrien, der en kort passiveringsmetode vil gi en kortere produksjonstid. Ut ifra kunnskapen hentet fra denne oppgaven ser det derfor ut som anodisering med svovelsyre er den ideelle passiveringsmetoden med hensyn på tiden den tar å utføre. Denne vil til ulempe koste mer enn kjemisk passivering, hvor kostnader i strøm kan være en stor faktor.

Som beskrevet i delkapittel 5.2 er kjemisk passivering med sitronsyre utelukket som en god passiveringsmetode. De resterende metodene gjennomgått i denne oppgaven var derimot interessante for passivering av aluminium. Salpetersyre som løsning ved kjemisk passivering ga gode resultater, både i forhold til påvirkning på hydrogenperoksid og bevaring av materialet. Her ga prøve 1, med en syrekonsentrasjon på 33% i 24 timer, picklet med 0,5% natriumhydroksid, den beste kjemiske passiveringen. Dette gjelder også anodisering med svovelsyre brukt som elektrolytt, der prøve 4, med en spenning på 21,4 V og 1 M svovelsyre passivert i to timer ga de mest ideelle egenskapene. Hvilken metode best egnet til bevaring av aluminium er vanskelig å fastslå ut ifra resultatene oppnådd i arbeidet. Det er gitt antydning til at salpetersyrepassivert prøve 1 ga den beste passiveringen. Ettersom det var stor usikkerhet i strømkildene i anodiseringen kan det ikke konkluderes at den kjemiske passiveringen er en bedre passiveringsmetode. Den enkleste metoden var utvilsomt den kjemiske passiveringen. Denne er derimot mer tidskrevende enn den konkurrerende metoden, som kan være essensielt ved produksjon av passivert aluminium.

Fra utført Cross-hatch Cutter på prøvene gis det antydning til at salpetersyre passivert aluminium gir høyest sliteresistent sjikt. Analyser fra forsøkene utført med anodisering viser at det med rette forhold kan dannes hardere sjikt enn med kjemisk passivering.

5.8 anbefalinger til videre arbeid

I denne oppgaven var det mye prøving og feiling. Et viktig bidrag for dette arbeidet var å eliminere bort overflatebehandlinger som ikke fungerte tilstrekkelig, og optimalisere faktorene for de metodene som ga gode resultater. I tillegg var det et viktig bidrag i å identifisere en egnet metode for å teste sjiktet. På grunn av alle disse faktorene ble mye av resultatene fra metoden konkludert at de ikke kan anvendes for RACS-systemet. Det var begrenset tid for laboratoriearbeid og det er mange metoder som derfor ble nedprioritert. Det er også en del av metodene som kan optimaliseres ytterligere. I dette kapittelet blir derfor anbefalinger for videre arbeid diskutert.

5.8.1 Passiviseringsmetoder

Det ble utført tester med to typer kjemiske passiviseringer, en med salpetersyre og en med sitronsyre. Disse igjen ble testet med justering av forskjellige parametere innenfor konsentrasjon og tid. I videre arbeid kan det være en god ide å forsøke å optimalisere disse parametere. Det vil kun gjelde for salpetersyre, da kjemisk passivering med sitronsyre ikke ga noen sjiktdannelse. Det finnes utallige kombinasjoner av tid og konsentrasjon som kan testes. I dette prosjektet ble ikke temperaturen endret ved kjemisk passivering med salpetersyre. Det vil være en anbefaling å forsøke å endre denne parameteren.

Passivering med seksverdig kromatløsning, er noe som ikke er mulig for industrien å bruke, siden seksverdig kromatløsning ikke er tillatt å bruke, noe som er bestemt av ECHA.(ECHA, 2022) Det er derimot tillatt å utføre laboratoriske forsøk med dette kjemikaliet. Det kan være en god metode for å sammenligne mot de andre passiveringene. Dette fordi det teoretisk skal være den beste metoden. Det kan da være en referanse for de andre testene, for å optimalisere.

Anbefaling for videre arbeid med anodisering vil være å bruke en kvalitetssikker spenningskilde, som i tillegg kan gi en høy spenning. Det var tydelig at denne type passivering ga et tykt sjikt, ved riktig konsentrasjon, tid, spenning og temperatur. På grunn av dette kan det være mulig å videreutvikle denne metoden.

5.8.3 Destruktive og ikke-destruktive tester

Det ble testet for tykkelse av sjikt ved SEM med secondary electrons (SE), uten resultat. Tykkelse kan være en god indikator på kvaliteten av sjiktet. En mulig løsning kan være SEM med Focused Ion Beam (FIB).

Begrenset mengde og konsentrasjon av hydrogenperoksid, i tillegg til tidsbegrensing på laboratorium, var faktorene som spilte inn på at forsøk med hydrogenperoksid ble forenklet. Det er sterkt anbefalt å utføre et forsøk hvor aluminiumsprøven står i kontakt med 85% hydrogenperoksid over et tidsrom på seks uker. I løpet av disse seks ukene kan konsentrasjonen til hydrogenperoksid bli observert ved kvantitativ analyse med autotitrator og en utviklet metode. Det er en god metode for å observere om hydrogenperoksid reagerer med aluminiumen. Dette er en god indikator på hvor god kvalitet det er på sjiktet etter de forskjellige passiviseringsmetodene.

6. Konklusjon

I dette kapitlet er målet å svare på følgende problemstilling: *Hvilken overflatebehandling gjør aluminium med legering 6082-T6 mest mulig kompatibel med hydrogenperoksid for romapplikasjoner?* For å besvare denne problemstillingen konkluderes det også med hvordan klassifisere kvaliteten av et passiviseringssjikt.

Tre ulike passiviseringsmetoder er testet i et laboratorium og parametere som tid, spenning, temperatur og konsentrasjon er i tillegg justert. NDT og DT tester som SEM, lysmikroskop, Cross-hatch Cutter og utsettelse for kontakt med hydrogenperoksid er brukt for å kvalifisere sjiktet.

Følgende hovedkonklusjoner fra forsøkene er:

1: Passiviseringsmetoder

- Basert på observasjonene fra de ulike forsøkene kan kjemisk passivering med sitronsyre utelukkes som en gunstig passiveringsmetode for aluminium med legering 6082-T6.
- Kjemisk passivering med salpetersyre med en konsentrasjon på 33% og en tid på 24 timer er utfra alle NDT og DT tester klassifisert som det beste resultatet.
- Ved anodisering ble det mest ideelle sjiktet dannet med en spenning på 21,4 V, tid på to timer og konsentrasjon på 1 M. Grunnet defekt spenningskilde, som ga lavere spenning enn ønsket, ble ikke metoden utført etter ønsket oppsett.

2: NDT og DT som testemetoder

- Det var ingen observasjon av tykkelse på sjiktet ved bruk av SEM (JCM-6000, JEOL) og lysmikroskop (Elipse MA 200, Nikon). Årsaken er trolig at sjiktet er for tynt til å kunne identifiseres.
- Kompatibilitetstest med hydrogenperoksid er som forventet en god indikasjon på kvaliteten til sjiktet, ut ifra visuelle observasjoner og måling av vektendring før og etter kontakt.
- SEM er en god NDT metode for å visuelt observere dannelse av sjikt eller ikke, men er ikke egnet for å kvalifisere kvaliteten av sjiktet.
- DT testen Cross-hatch Cutter ga en god indikasjon på vedheft mellom aluminium med legering 6082-T6 og sjiktet. Ulempen er derimot at produktet ødelegges ved testing.
- Det ble konkludert at måling av Vickers hardhet ikke ga målinger relevant for kvaliteten på det dannede sjiktet. Årsaken er at sjiktet er så tynt at den måler mest sannsynlig hardheten av materialet, istedenfor kun sjiktet.

Denne oppgaven viser at den beste overflatebehandling fra utførte forsøk, er kjemisk passivering med salpetersyre med en konsentrasjon på 33% i 24 timer, picklet med natriumhydroksid med en konsentrasjon på 0,5% i 20 minutter. Anbefaling for videre arbeid er blant annet å optimalisere denne metoden.

Referanseliste

Referanseliste

- AZO. (2005). *Aluminium Alloys - Aluminium 6082 Properties, Fabrication and Application*. Retrieved 20.04. from <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=2813>
- Baldrige, J., & Villegas, Y. (2002). Compatibility Studies of Hydrogen Peroxide and a New Hypergolic Fuel Blend 14. <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20030059515/downloads/20030059515.pdf>
- Bishopp, J. (2005). Handbook of Adhesives and Sealants. *Chapter 4 Surface pretreatment for structural bonding, 1*, 163-214. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1874569502800057>
- Browning, C. (2019). *Standard Specification for Chemical Passivation Treatments for Stainless Steel Parts*. ASTM International
- C. Albano, N. C., J. L. Feliu, M. Hernandez. (2005). Influence of scrap rubber addition to Portland I concrete composites: Destructive and non-destructive testing. *Composite Structures*, 71(3-4), 439-446.
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263822305002771?casa_token=QX12RVImorAAAAA:aKjIS8Ep016mJZLh2ldgwdThq8Ili0KqgsPjkLIP2pv63BN4c8uvyl7UttjXvLKbBeKvnDPq3w
- C. O'Laoire, B. T., L. Kremer, J. D. Homes, M. A. Morris. (2006). Analysis of the Acid Passivation of Stainless Steel.
<https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/00032710600755363?needAccess=true>
- Davis, D., D., Dee, L., A., Greene, B., Hornung, S., D., McClure, M., B., & Rathgeber, K., A. (2005). Fire, Explosion, Compatibility and Safety Hazards of Hydrogen Peroxide. In (pp. 300): NASA.
- Doubnut. (2022). *Yellow colour of nitric acid is due to dissolved. | 10 | STUDY OF COMPOUNDS OF NITROGEN* <https://www.youtube.com/watch?v=XLhrr-fMUjl>
- E. Nastoulis, M.-V. K., C. M. Couvaris, S. Kapetanakis, A. Fiska, P. Pavlidis. (2017). Greenish-Blue Gastric Content: Literature Review and case Report on Acute Copper Sulfate Poisoning.
[http://forensicsciencereview.com/Abstract/29\(1\)-3%20\(Pavlidis\).pdf](http://forensicsciencereview.com/Abstract/29(1)-3%20(Pavlidis).pdf)
- ECHA. (2022). *Substance Infocard Chromium (VI)* <https://echa.europa.eu/substance-information/-/substanceinfo/100.132.559>
- Equipment, P. T. *Cross Hatch Cutter* Retrieved 18.04.2022 from <https://paint-test-equipment.com/wp-content/uploads/sites/2/2021/04/Cross-Hatch-Cutter.pdf?v=c2f3f489a005>
- Evonik. (2020). *Determination of hydrogen peroxide concentration by titration with potassium permanganate*
file:///Users/vetleimidemeling/Downloads/determination%20of%20hydrogen%20peroxide%20concentration%20by%20titration%20with%20potassium%20permanganate.pdf
- Forsbes, F., S., & Van Splinter, P., A. (2003). Liquid Rocket Propellants. In *Encyclopedia of Physical Science and Technology (Third Edition)*. ScienceDirect.

- Fuchs, F., John. (1995a). Ultrasonic Cleaning. 10.
<https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19950025362/downloads/19950025362.pdf>
- Fuchs, F., John. (1995b). Ultrasonic Cleaning Fundamental Theory and Application. In: NASA.
- Grubbs, C., A. (1999). Anodizing of aluminium. 97, 18.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002605769980049X#!>
- Halmøy, E. (2018). *Eloksering*. <https://snl.no/eloksering>
- Helseth, L., Egil. (2021). *Kavitasjon*. <https://snl.no/kavitasjon>
- Hull, B., & John, V. (1988). *Non-destructive testing*
https://books.google.no/books?hl=no&lr=&id=0k9dDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR7&dq=non+destructive+testing&ots=2TGv5c5sCv&sig=WtEzU1ZUvC-dFn0yXC4H8NG9GH8&redir_esc=y#v=onepage&q=non%20destructive%20testing&f=false
- Hydal. *Legeringer* Retrieved 11.04 from https://hap.hydal.com/download-routerfile.php?temp_id=95&file_id=1776
- Hydro. (2022). *How is aluminium made?* https://www.hydro.com/en-NO/aluminium/about-aluminium/how-its-made/?gclid=Cj0KCOjw3v6SBhCsARIsACyrRAIDkErvz_DfLSKc8p5snmAzL46d0LnIy401sUg1wN5Sw12n1whSI24aAu8CEALw_wcB
- Jose Cabral-Miramontes, F. A.-C., Francisco Estupinan Lopez, Maria Lara Banda, Javier Olguin-Coca, Luis Daimir Lopez-Leon, Ivan Castaneda-Robles, Miguel Angel Esneider Alcalá, Patricia Zambrano-Robledo, Citlalli Gaona-Tiburcio. (2021). Citric Acid as an Alternative to Sulfuric Acid for the Hard-Anodizing of AA6061.
<https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:r0BB86a7p6sJ:https://www.mdpi.com/2075-4701/11/11/1838/pdf+&cd=14&hl=no&ct=clnk&gl=no&client=safari>
- Kamp, M., Maywals, A., Bartsch, J., & Efinger, R. (2015). Schematic anodizing process of an aluminum part. In. Researchgate.
- Laorie, C., Timmins, B., Kremer, L., Holmes, J., D., & Morris, M., A. (2006). Analysis of the Acid Passivation of Stainless Steel. *Analytical Letters*, 39.
https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00032710600755363?casa_token=RCp3-vRIV78AAAAA%3AJJ1LVpNjWaxlZDnnyUNq0a7PIUylACovSxso8XSAfRuAmxTrfPxxIld81UbtVuGalHgV-iIMxErs
- Mohammed, A., & Abdullah, A. (2018). Scanning electron microscopy (SEM): A review. 9.
<https://fluidas.ro/hervex/proceedings2018/77-85.pdf>
- NASA. (2004). Aluminum-Scandium Alloys: Material Characterization, Friction Stir Welding, and Compatibility With Hydrogen Peroxide. 28. https://w.hydrogen-peroxide.us/chemical-mfg-storage/NASA-Aluminum_Scandium_Alloys-Compatibility_with_Hydrogen_Peroxide.pdf
- Pedersen, B. (2019). *hydrogenperoksid*. <https://snl.no/hydrogenperoksid>
- Pedersen, B. (2021). *Kobber*. <https://snl.no/kobber>
- Pedersen, B. (2022). *Aluminium*. Retrieved 10.04 from <https://snl.no/aluminium>

- Pilgaard, M. (2019, 24. April 2019). *Reaction of aluminium with air*
<https://pilgaardelements.com/Aluminum/Reactions.htm>
- S. Kaan Gurel, I. A. Y., T Oytun Kilinc. (2019). Uncertainty calculation and calibration of metal hardness testing equipment 13.
https://cfmetrologie.edpsciences.org/articles/metrology/pdf/2019/01/metrology_cim2019_12002.pdf
f (Department of Laboratories and Calibration Management, Roketsan Missiles Industries Inc)
- Stillman, T., B. (1897). THE ACTION OF NITRIC ACID UPON ALUMINUM AND THE FORMATION OF ALUMINUM NITRATE. *Journal of the American Chemical Society*, 6.
<https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/ja02083a004>
- T. Singh, E. K. (2016). *Harsh Environment Materials*
- Tsangaraki-Kaplanoglou, Theohari, S., Dimogerontakis, T., Wang, Y.-M., Kuo, H., & Kia, S. (2006).
Effect of alloy types on the anodizing process of aluminum
<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0257897205007681?token=A87FEAB11EAF21EE12906D161436EBCFCF31285FCD4B60601EF195EDF4C5BD75D6EC70495795261AFBC63224D055034B&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220510174031>
- Vargel, C. (2020). *Corrosion of Aluminium* (Second ed.). Elsevier
- Woodard & Curran, I. (2006a). Formation of hydroxyl free radicals. In M. f. T. W. f. Industry (Ed.). ScienceDirect.
- Woodard & Curran, I. (2006b). *Industrial Waste Treatment Handbook (Second Edition)*
<https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/hydrogen-peroxide>
- Zhou, W., Apkarian, R., Wang, Z., Lin, & Joy, D. (2006). *Fundamentals of Scanning Electron Microscopy*
https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-0-387-39620-0_1.pdf

Vedleggsliste

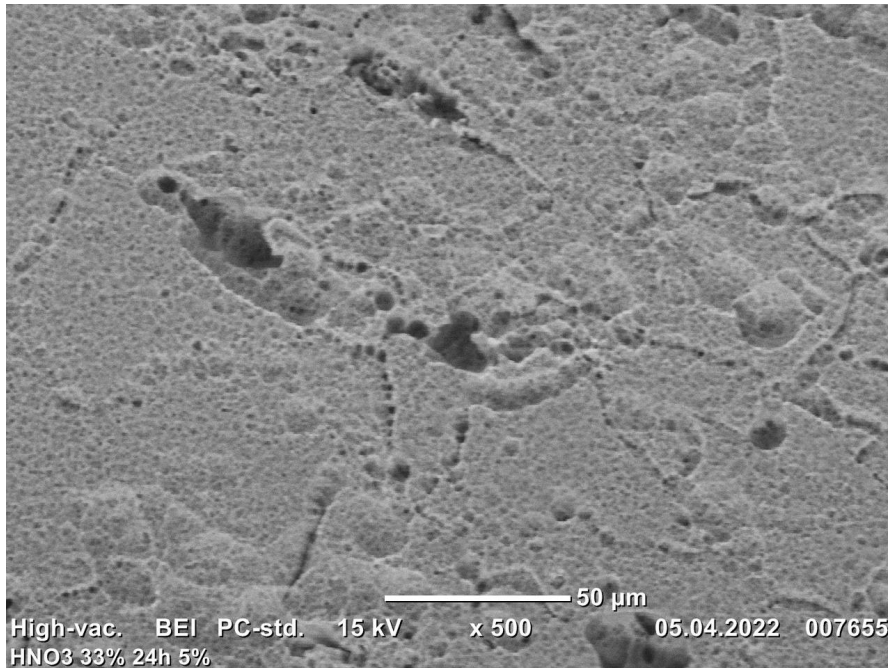
- A. Beregninger
- B. SEM bilder for ulike passiveringsmetoder
- C. Lysmikroskopbilder
- D. Klassifiserings guide for Cross-hatch Cutter
- E. Vickers hardhetsmåling
- F. Risikovurdering

A Beregninger

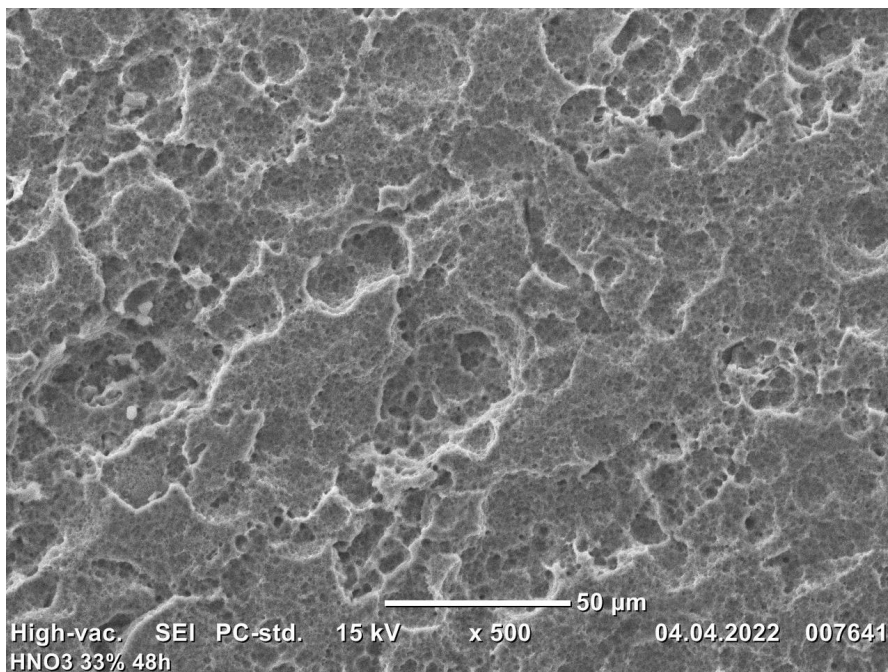
Beregning 1 viser fortynning fra 65% HNO₃ til 33%, ved hjelp av fortynningsformelen.

$$V_1 = \frac{33\% * 500 \text{ mL}}{65\%} = 256,8 \text{ mL} \quad (1)$$

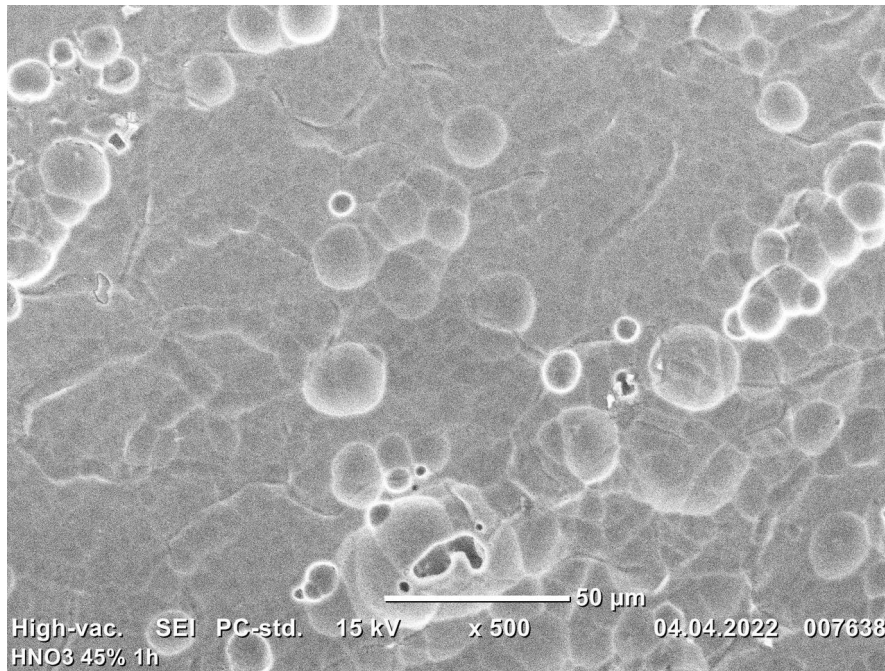
B SEM bilder for ulike passiveringsmetoder



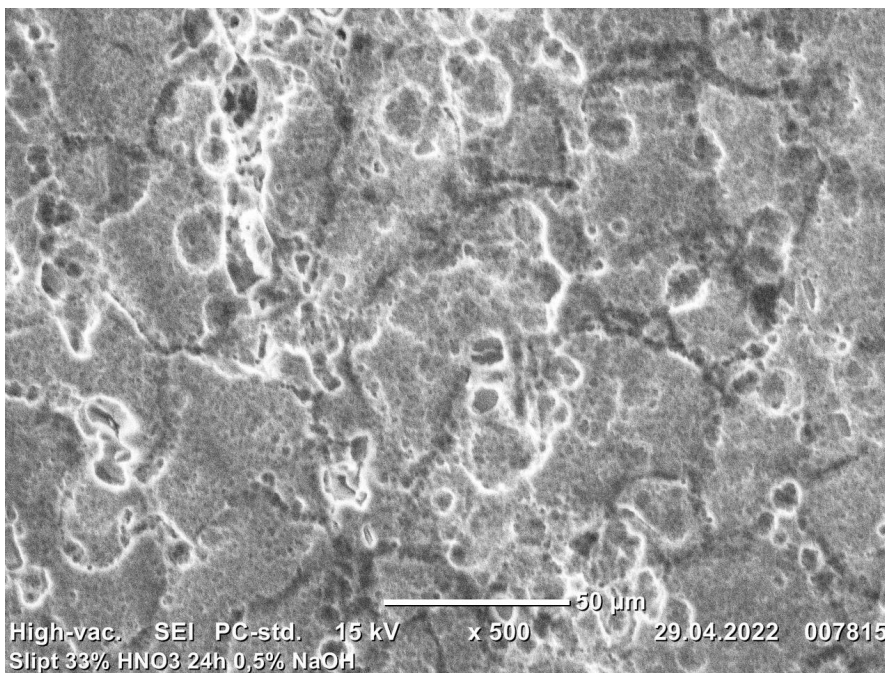
Figur 33: Figuren viser bilde fra SEM av prøve 2 passivert med salpetersyre.



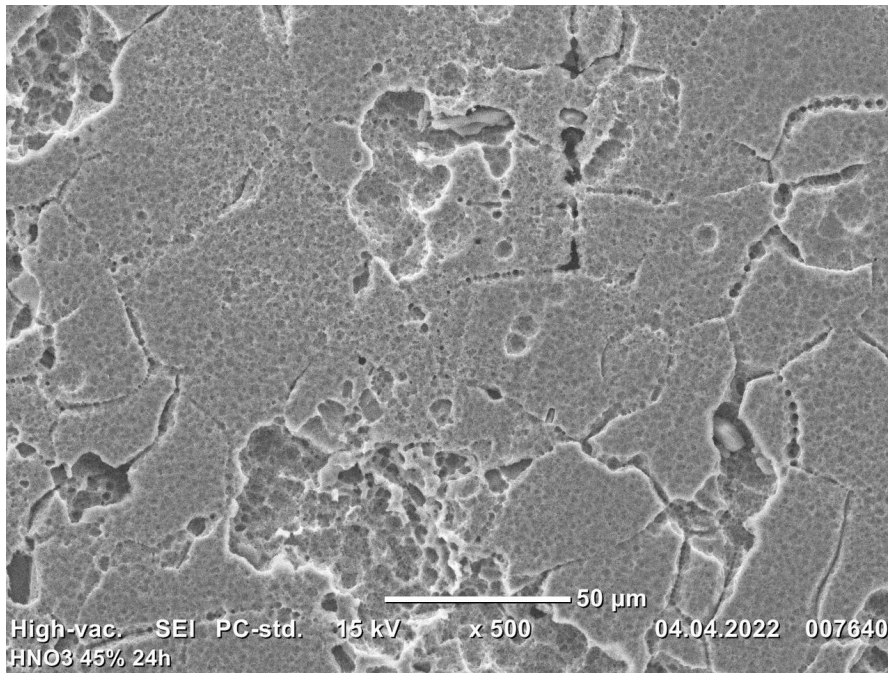
Figur 34: Figuren viser bilde fra SEM av prøve 3 passivert med salpetersyre.



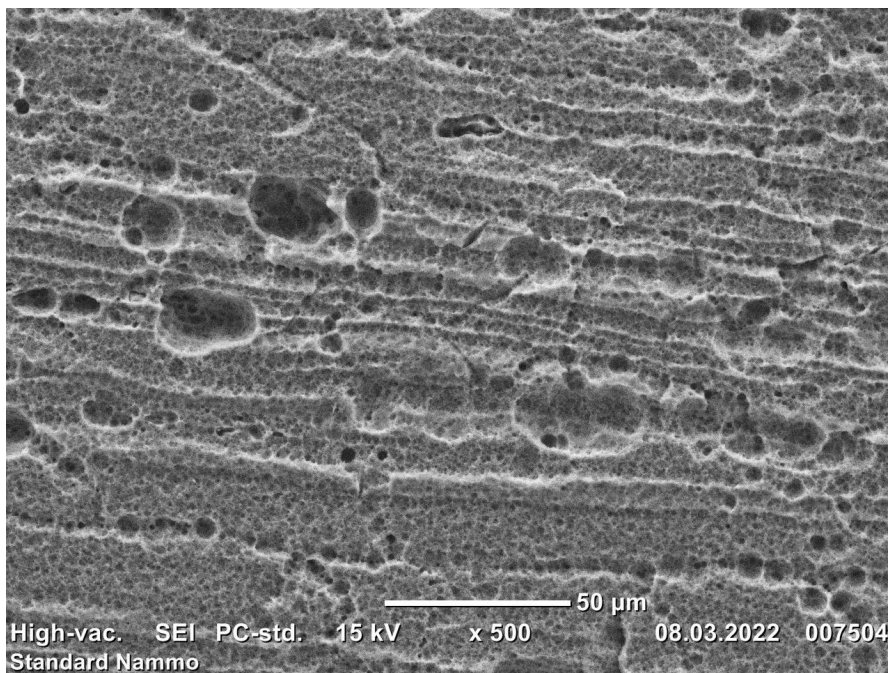
Figur 35: Figuren viser bilde fra SEM av prøve 7 passivert med salpetersyre.



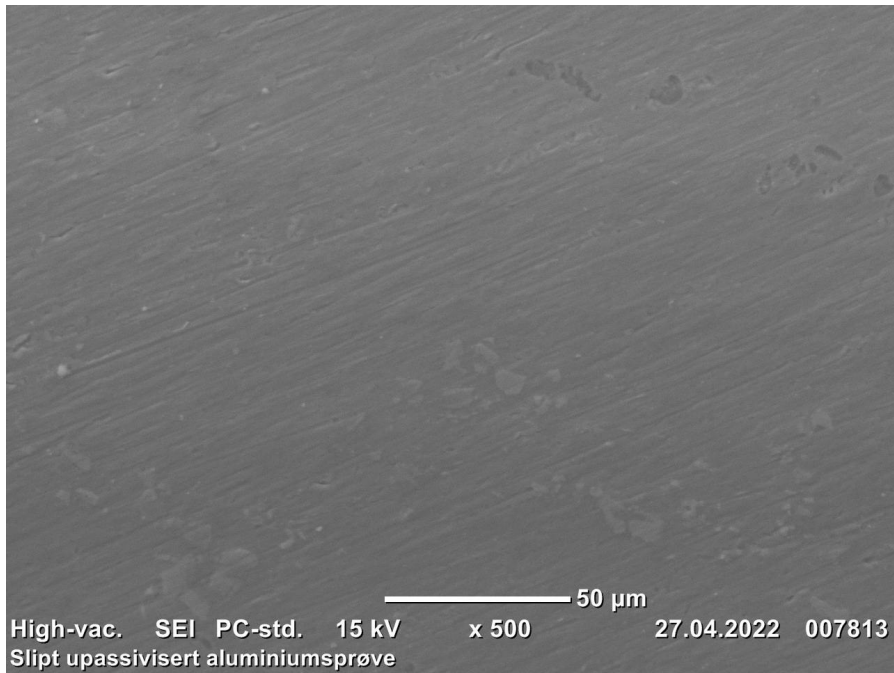
Figur 36: Figuren viser bilde fra SEM av prøve 8 passivert med salpetersyre.



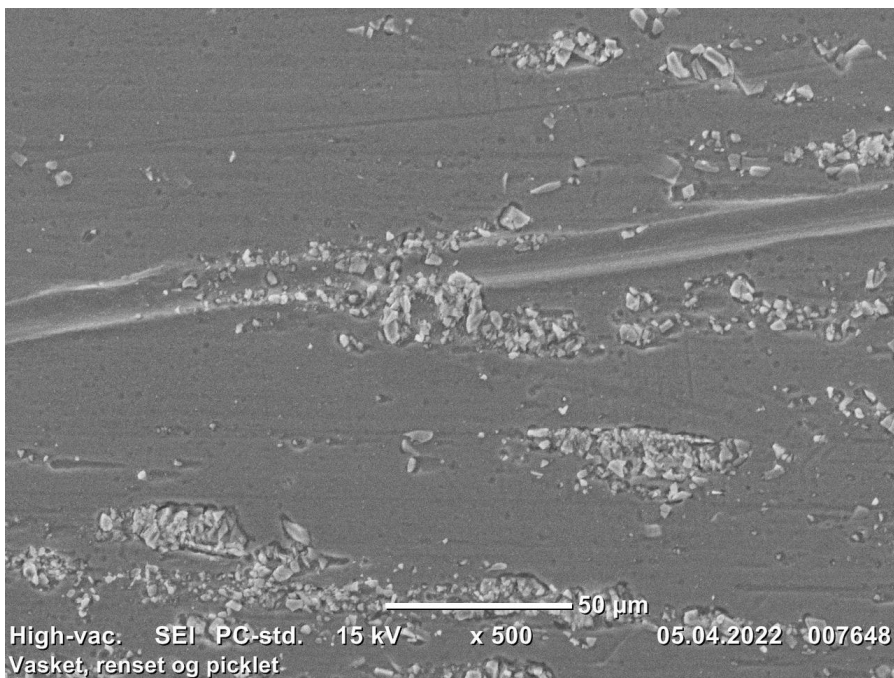
Figur 37: Figuren viser bilde fra SEM av prøve 9 passivert med salpetersyre.



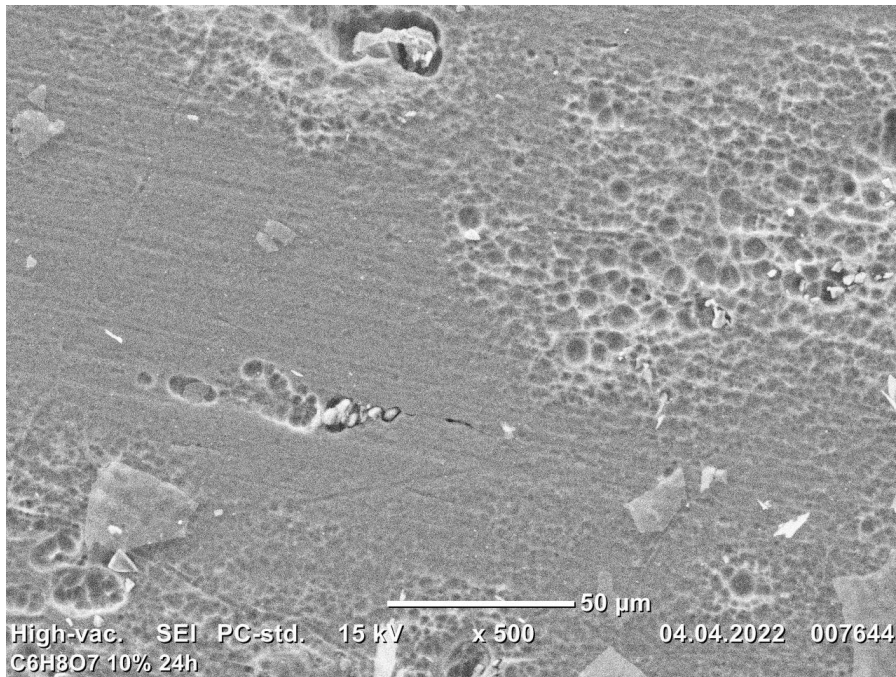
Figur 38: Figuren viser bilde fra SEM av ferdig passivert prøve sendt av Nammo.



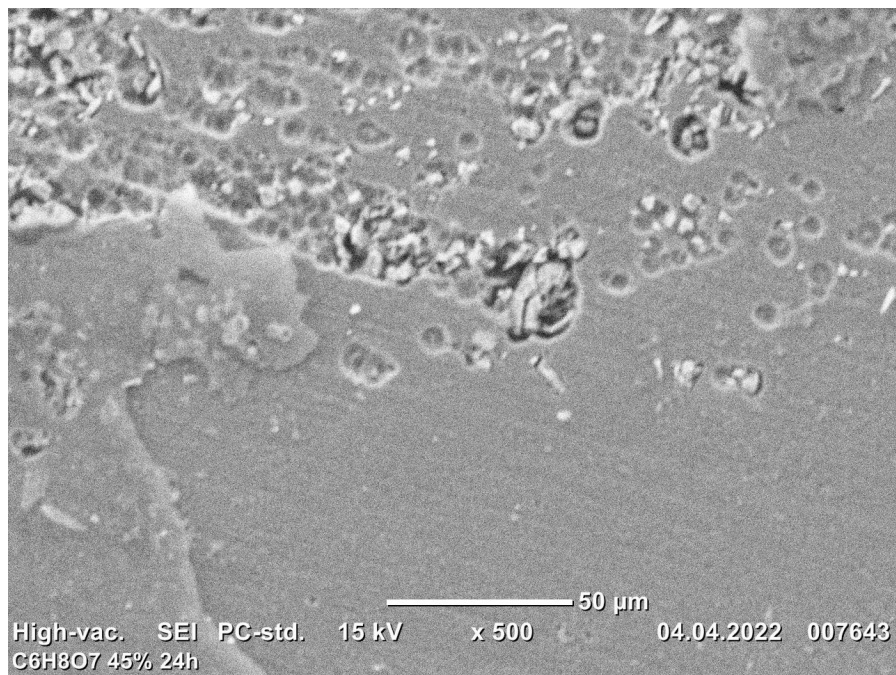
Figur 39: Figuren viser bilde fra SEM av en slipt og upassivert prøve.



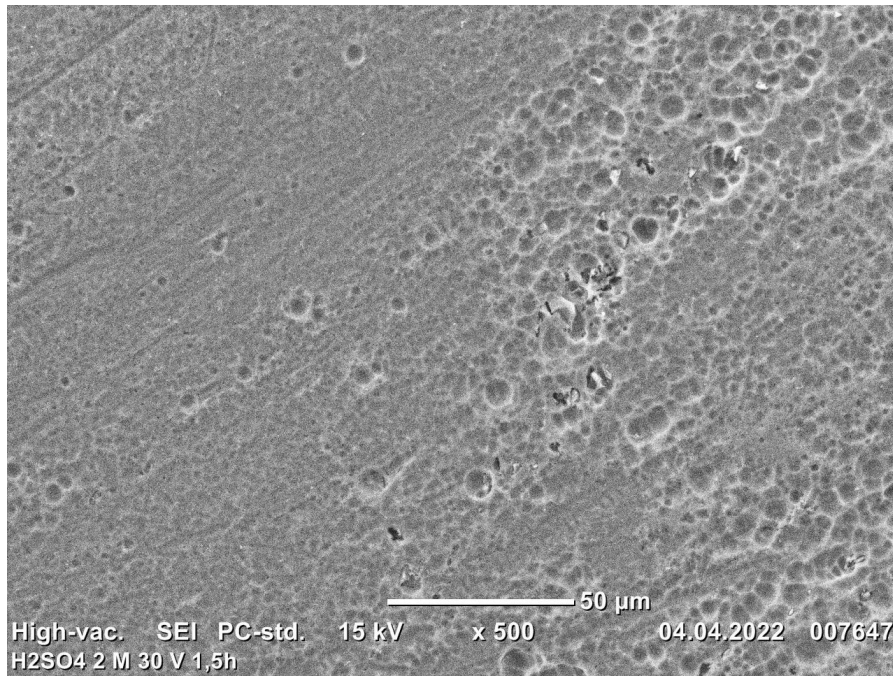
Figur 40: Figuren viser bilde fra SEM av en rensert og picklet upassivert prøve.



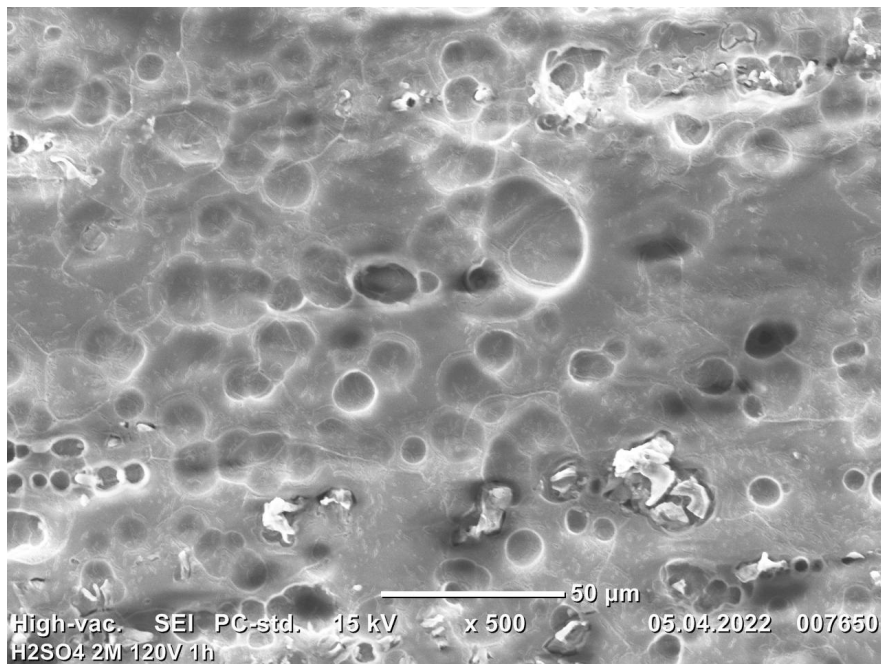
Figur 41: Figuren viser bilde fra SEM av prøve 3 passivert med sitronsyre.



Figur 42: Figuren viser bilde fra SEM av prøve 4 passivert med sitronsyre

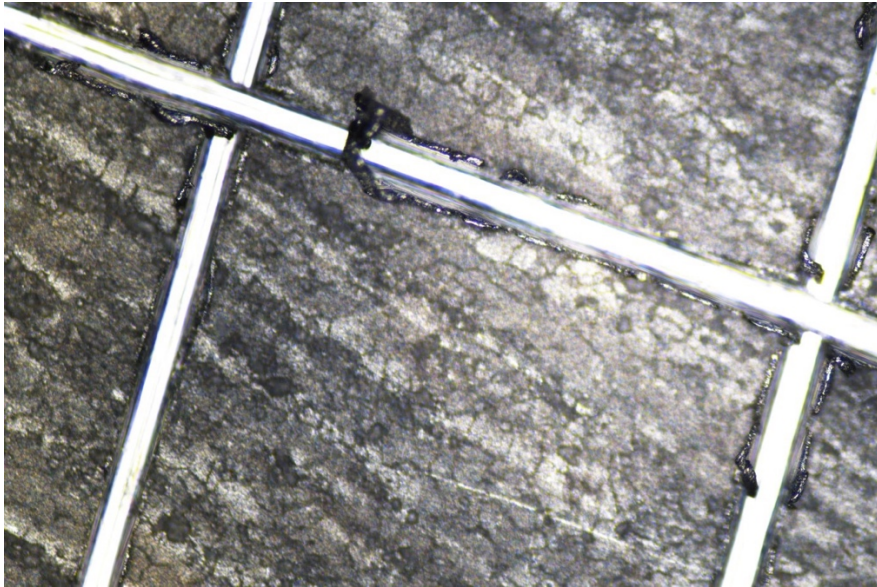


Figur 43: Figuren viser bilde fra SEM av prøve 1 passivert med anodisering.

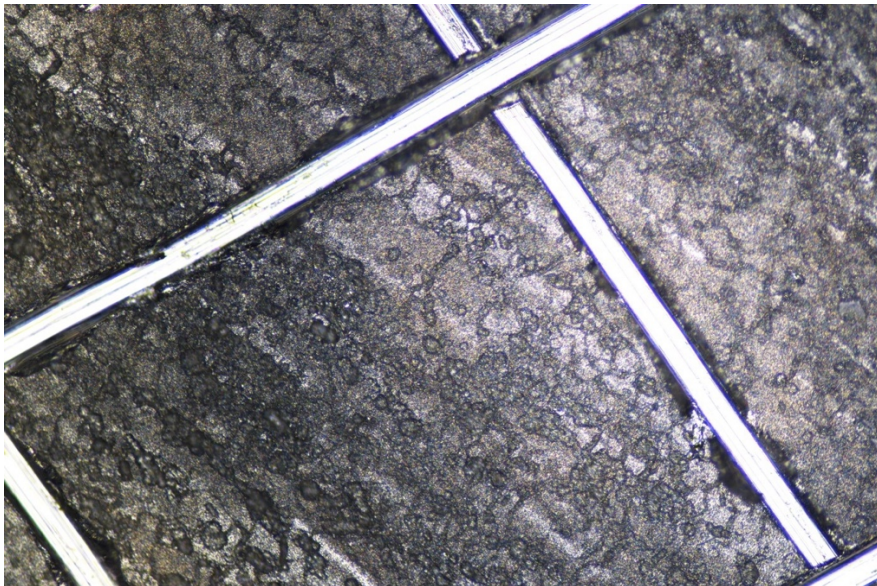


Figur 44: Figuren viser bilde fra SEM av prøve 3 passivert med anodisering.

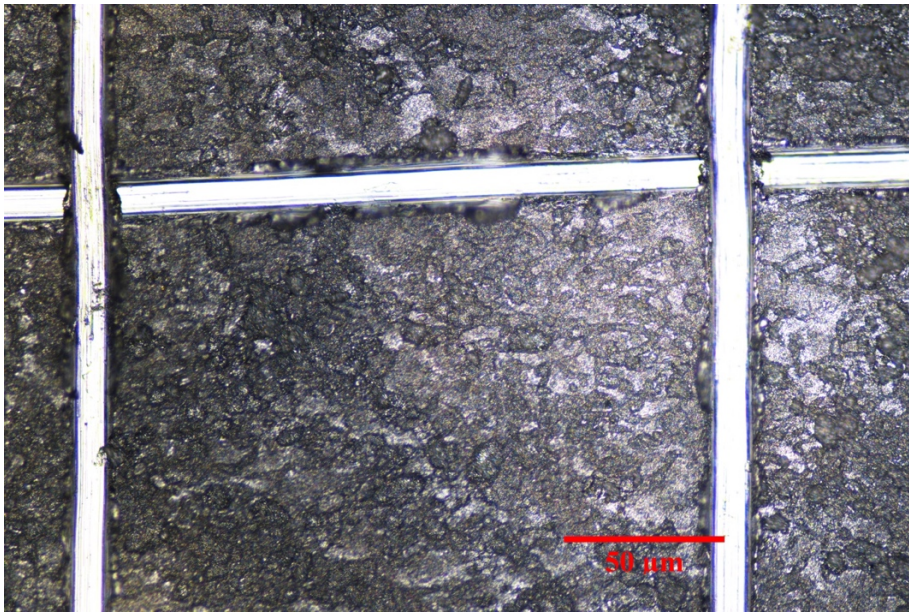
C Lysmikroskopbilder



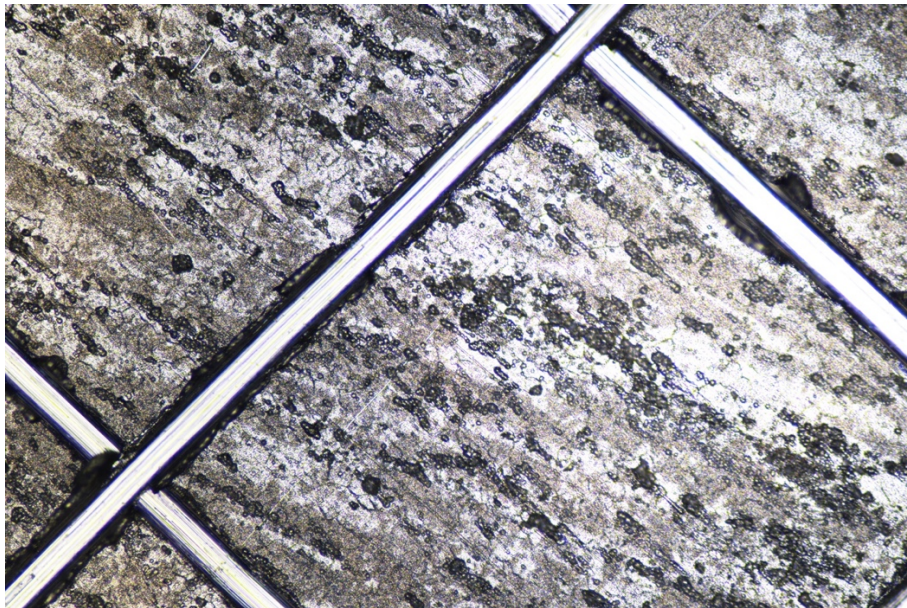
Figur 45: Figuren viser lysmikroskopbilde av prøve 2 passivert med salpetersyre etter utført Cross-hatch Cutter test.



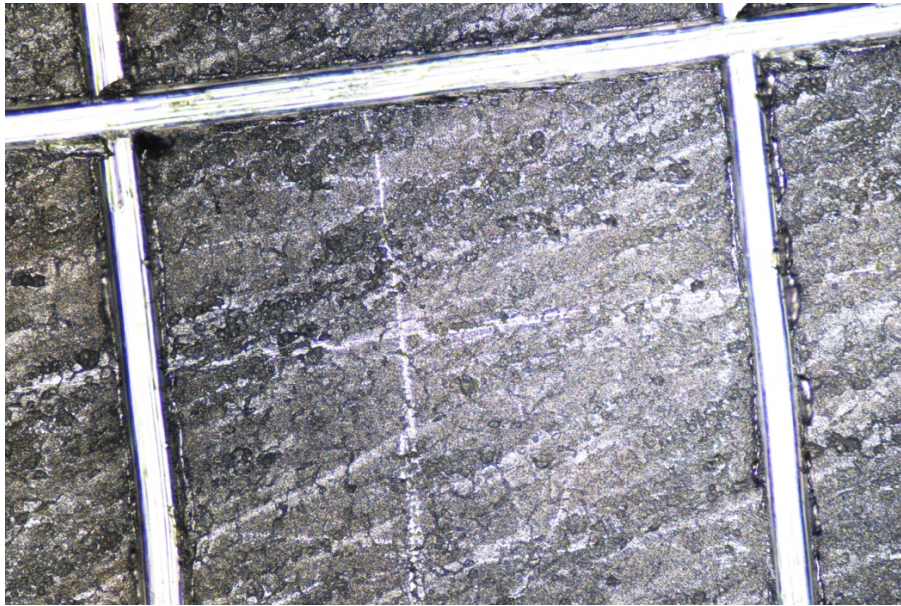
Figur 46: Figuren viser lysmikroskopbilde av prøve 3 passivert med salpetersyre etter utført Cross-hatch Cutter test.



Figur 47: Figuren viser lysmikroskopbilde av prøve 5 passivert med salpetersyre etter utført Cross-hatch Cutter test.



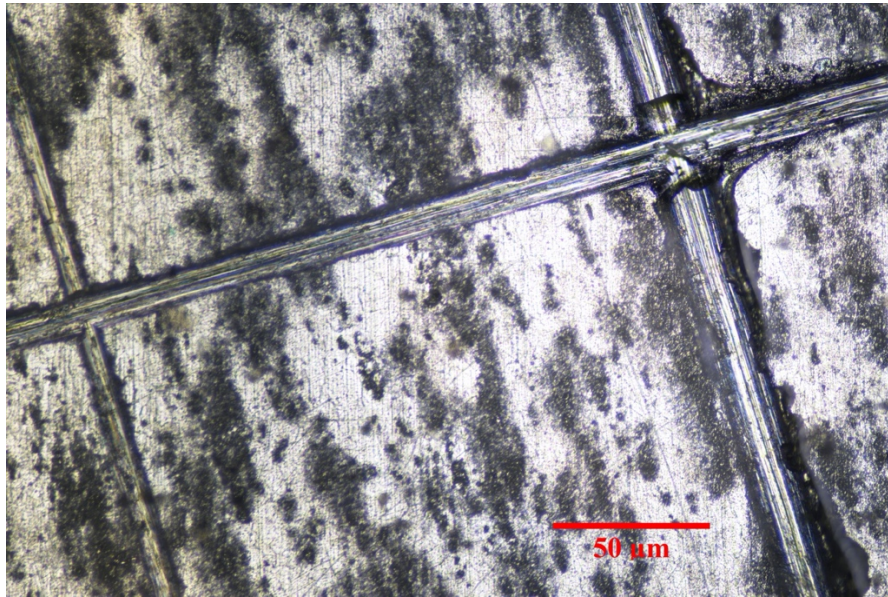
Figur 48: Figuren viser lysmikroskopbilde av prøve 6 passivert med salpetersyre etter utført Cross-hatch Cutter test.



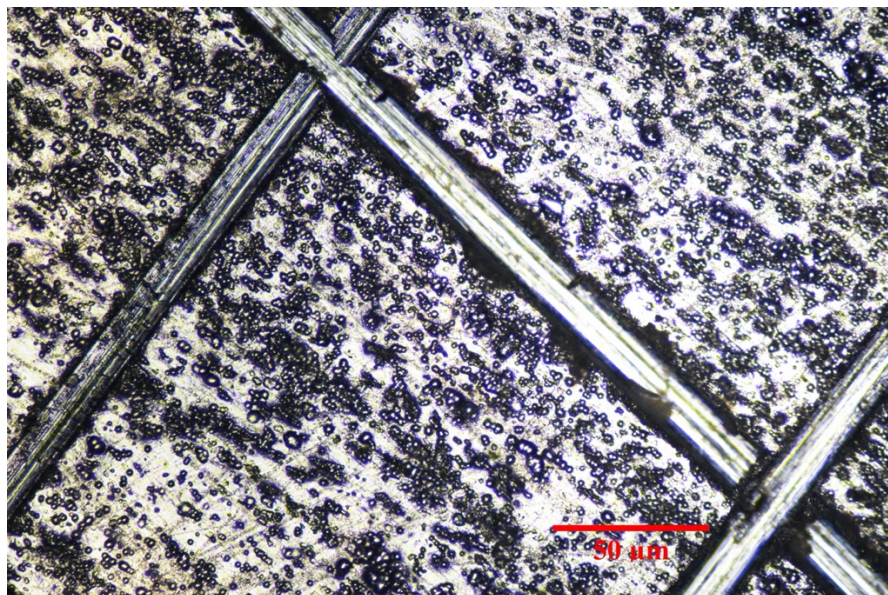
Figur 49: Figuren viser lysmikroskopbilde av prøve 8 passivert med salpetersyre etter utført Cross-hatch Cutter test.



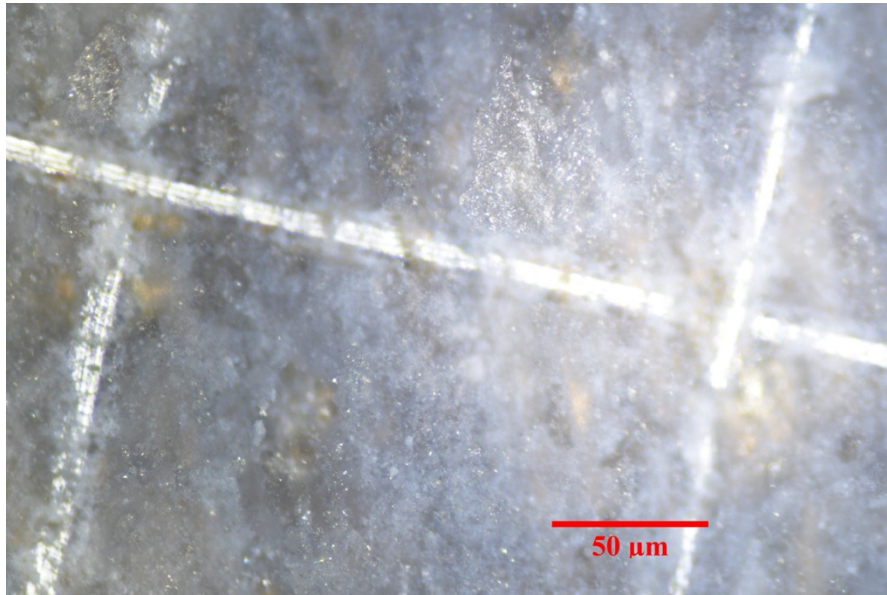
Figur 50: Figuren viser lysmikroskopbilde av prøve 9 passivert med salpetersyre etter utført Cross-hatch Cutter test.



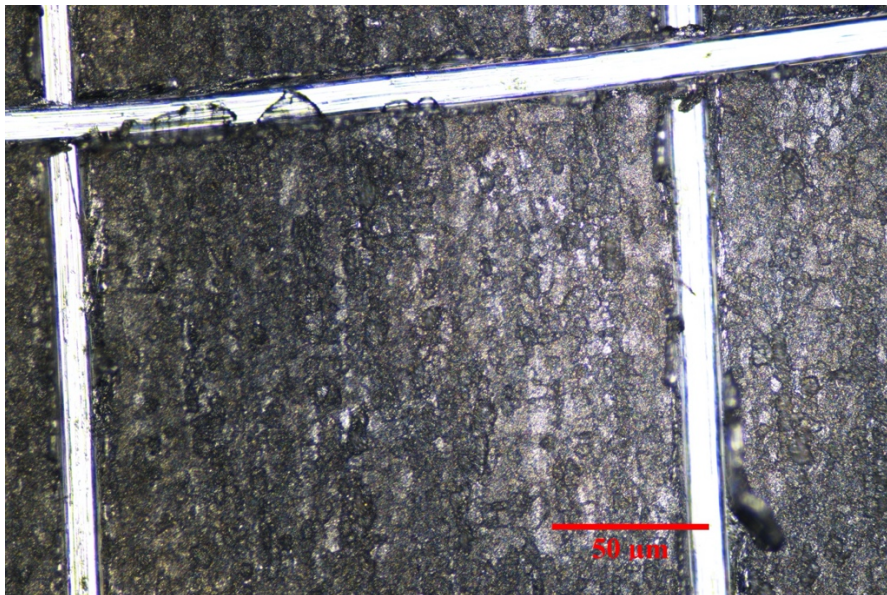
Figur 51: Figuren viser lysmikroskopbilde av prøve 2 passivert med anodisering etter utført Cross-hatch Cutter test.



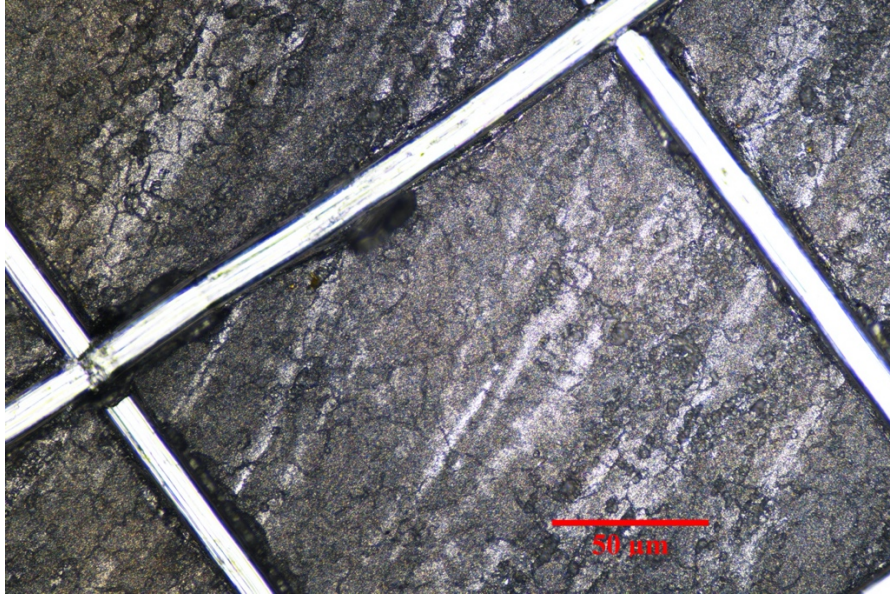
Figur 52: Figuren viser lysmikroskopbilde av prøve 3 passivert med anodisering etter utført Cross-hatch Cutter test.



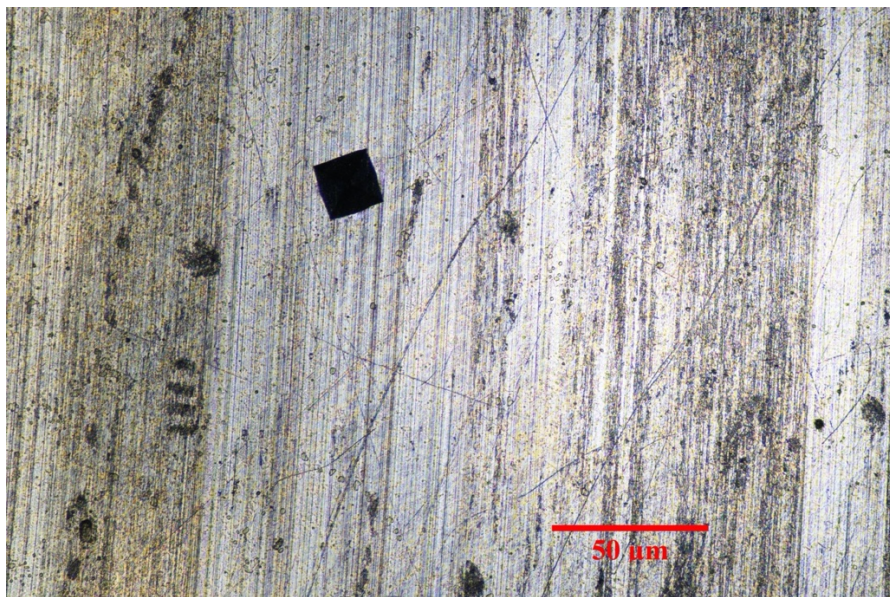
Figur 53: Figuren viser lysmikroskopbilde av prøve 5 passivert med anodisering etter utført Cross-hatch Cutter test.



Figur 54: Figuren viser lysmikroskopbilde etter utført Cross-hatch Cutter på prøve 3 passivert med salpetersyre etter kontakt med hydrogenperoksid.



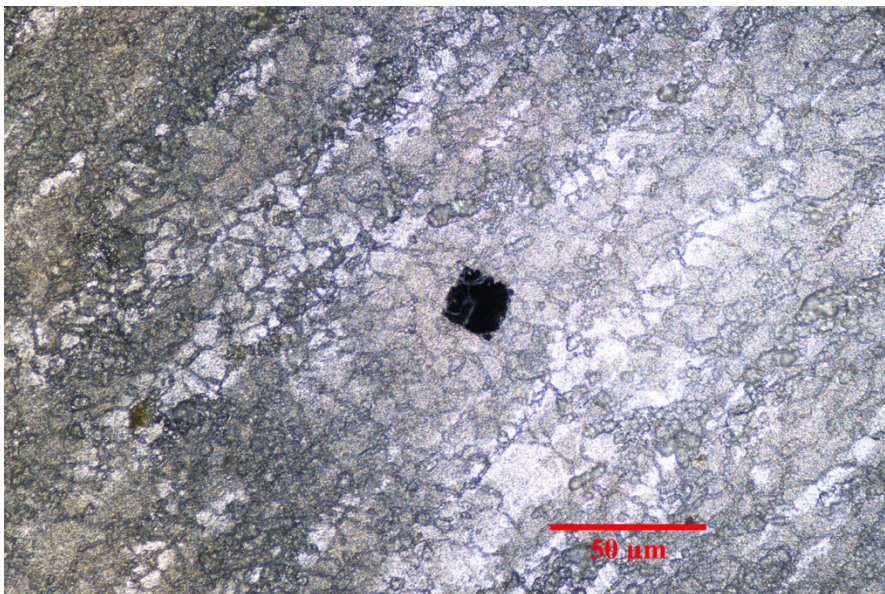
Figur 55: Figuren viser lysmikroskopbilde etter utført Cross-hatch Cutter på prøve 9 passivert med salpetersyre etter kontakt med hydrogenperoksid.



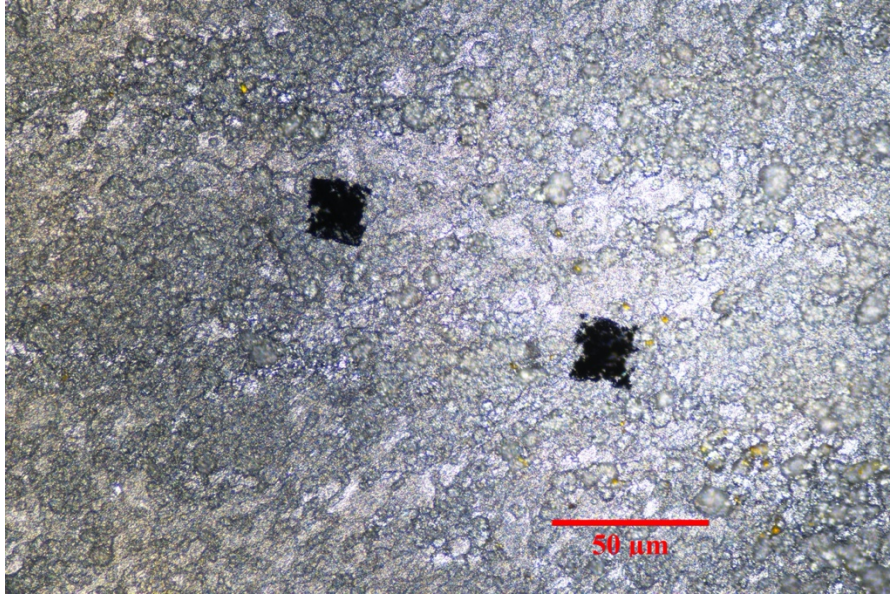
Figur 56: Figuren viser lysmikroskopbilde av upassivert prøve etter test med Vickers hardhetsmåler.



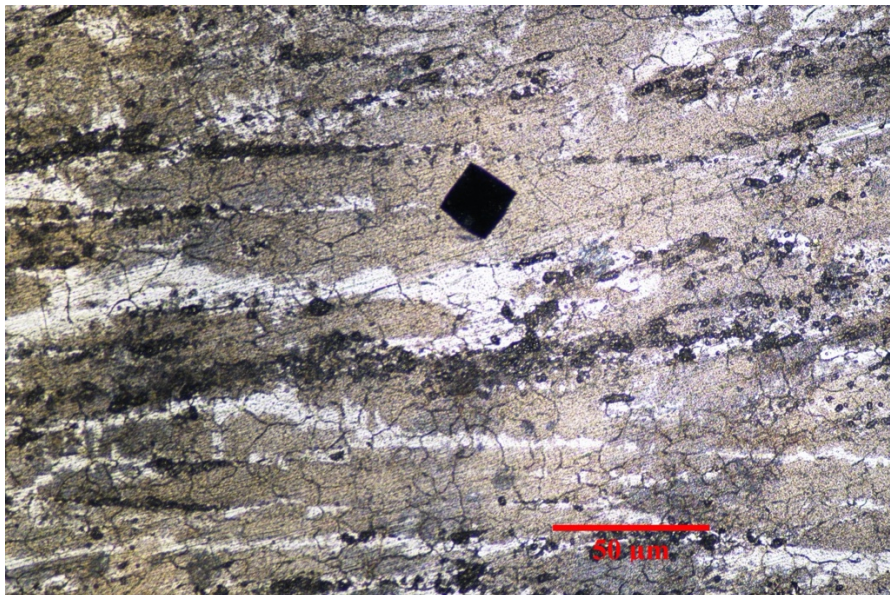
Figur 57: Figuren viser lysmikroskopbilde av prøve 3 passivert med salpetersyre etter test med Vickers hardhetsmåler.



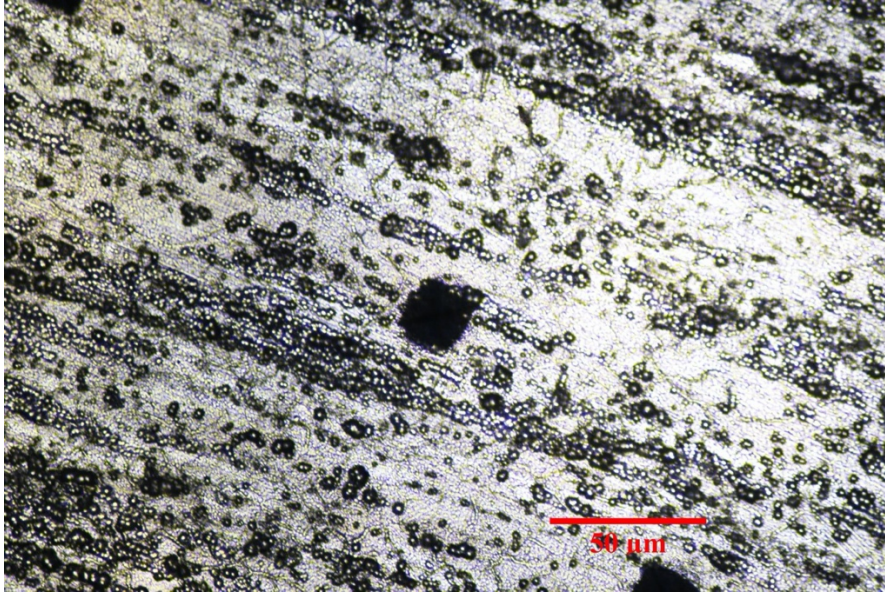
Figur 58: Figuren viser lysmikroskopbilde av prøve 4 passivert med salpetersyre etter test med Vickers hardhetsmåler.



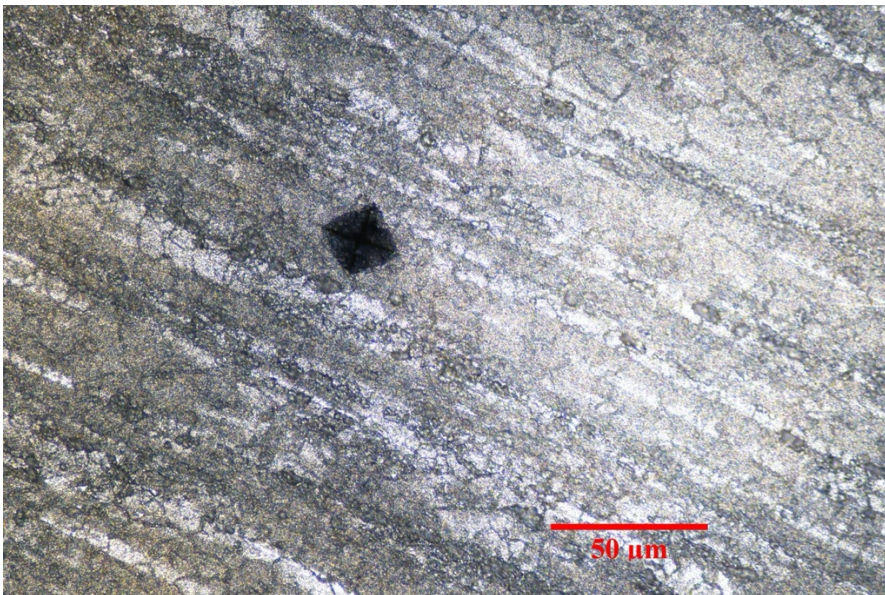
Figur 59: Figuren viser lysmikroskopbilde av prøve 5 passivert med salpetersyre etter test med Vickers hardhetsmåler.



Figur 60: Figuren viser lysmikroskopbilde av prøve 6 passivert med salpetersyre etter test med Vickers hardhetsmåler.



Figur 61: Figuren viser lysmikroskopbilde av prøve 7 passivert med salpetersyre etter test med Vickers hardhetsmåler.



Figur 62: Figuren viser lysmikroskopbilde av prøve 8 passivert med salpetersyre etter test med Vickers hardhetsmåler.



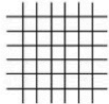
Figur 63: Figuren viser lysmikroskopbilde av prøve 9 passivert med salpetersyre etter test med Vickers hardhetsmåler.

D Klassifiserings guide for Cross-hatch Cutter

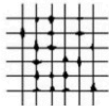


Classification Guide

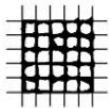
The first three steps of the Classification Guide are satisfactory for general purposes and are to be used when a general pass/fail is required.



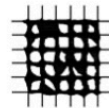
0. The edges of the cuts are completely smooth; none of the squares of the lattice is detached.



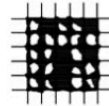
1. Detachment of small flakes of the coating at the intersections of the cuts. A cross-cut area not greater than 5% is affected.



2. The coating has flaked along the edges and at the intersections of the cuts. A cross-cut area greater than 5% but not greater than 15% is affected.



3. The coating has flaked along the edges of the cuts partly or wholly in large ribbons, and it has flaked partly or wholly on different parts of the squares. A cross-cut area greater than 15%, but not greater than 35% is affected.



4. The coating has flaked along the edges of the cuts in large ribbons and some squares have detached partly or wholly. A cross-cut area greater than 35% but not greater than 65% is affected.

5. Any greater degree of flaking that cannot even be classified by classification 4.

The first three steps of the Classification Guide are satisfactory for general purposes and are to be used when a general pass/fail is required.

The Classification Guide is given as an approximate information guide only (refer to the appropriate International Standard for the precise classification).

E Vickers hardhetstest



Struers ApS

Pederstrupvej 84
2750 Ballerup
Denmark

+45 44 600 800

www.struers.com

General Information

Date	May 03, 2022
Operator	admin
Hardness tester type	DURAMIN-40 AC1

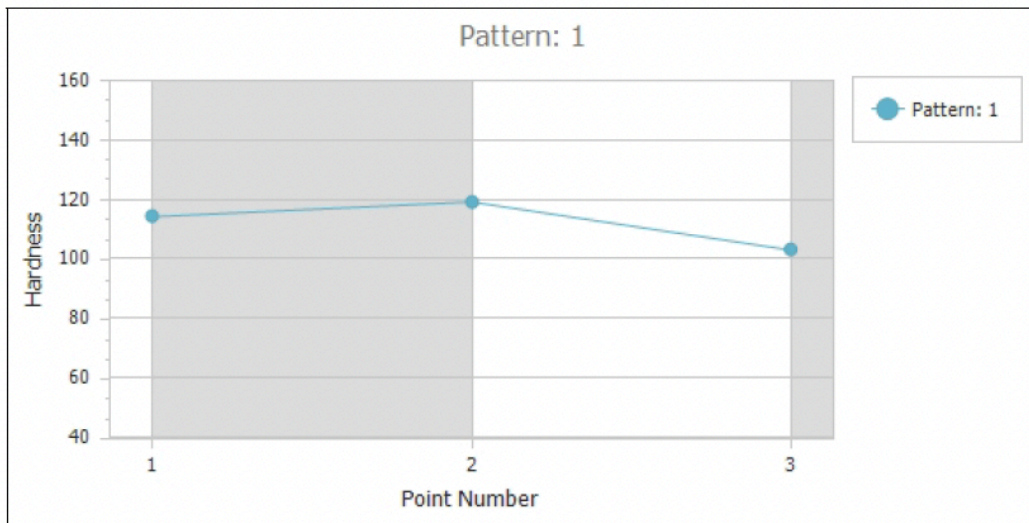
45% HNO₃ 1h 0,5% NaOH

Hardness Test Information

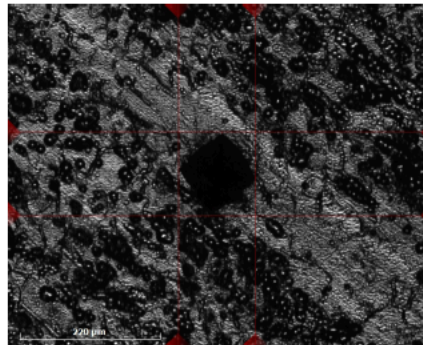
Method	VICKERS
Hardness scale	HV1
Dwell time	10 sec.

Test Pattern

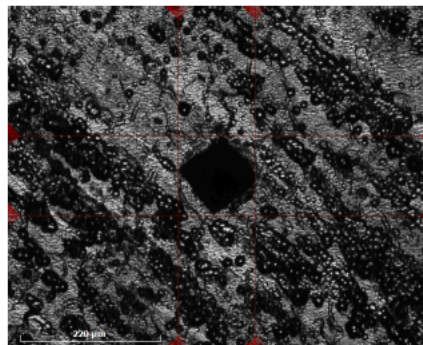
Diagrams



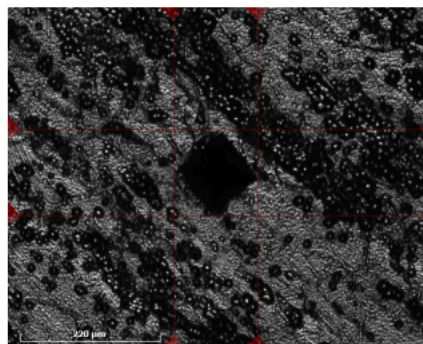
ID 1
Hardness 114.23 HV1
d1 0.1231 mm
d2 0.1317 mm
position x: 105.05 mm
 y: 86.37 mm
Conversions
Time 3:12:45 PM



ID 2
Hardness 119.23 HV1
d1 0.1235 mm
d2 0.1260 mm
position x: 104.53 mm
 y: 87.20 mm
Conversions
Time 3:13:50 PM



ID 3
Hardness 103.04 HV1
d1 0.1331 mm
d2 0.1352 mm
position x: 103.99 mm
 y: 88.47 mm
Conversions
Time 3:15:55 PM



Measurement Tables

Pattern: 1

Measurement Index	Result
1	114.23 HV1
2	119.23 HV1
3	103.04 HV1

Statistics

Pattern	Mean	Min	Max	SD	Range	USL	LSL	Cp	Cpk
---------	------	-----	-----	----	-------	-----	-----	----	-----

1	112.16	103.04	119.23	8.29	16.19	0.00	0.00	0.00	-4.51
---	--------	--------	--------	------	-------	------	------	------	-------



Struers ApS

Pederstrupvej 84
2750 Ballerup
Denmark

+45 44 600 800

www.struers.com

General Information

Date	May 03, 2022
Operator	admin
Hardness tester type	DURAMIN-40 AC1

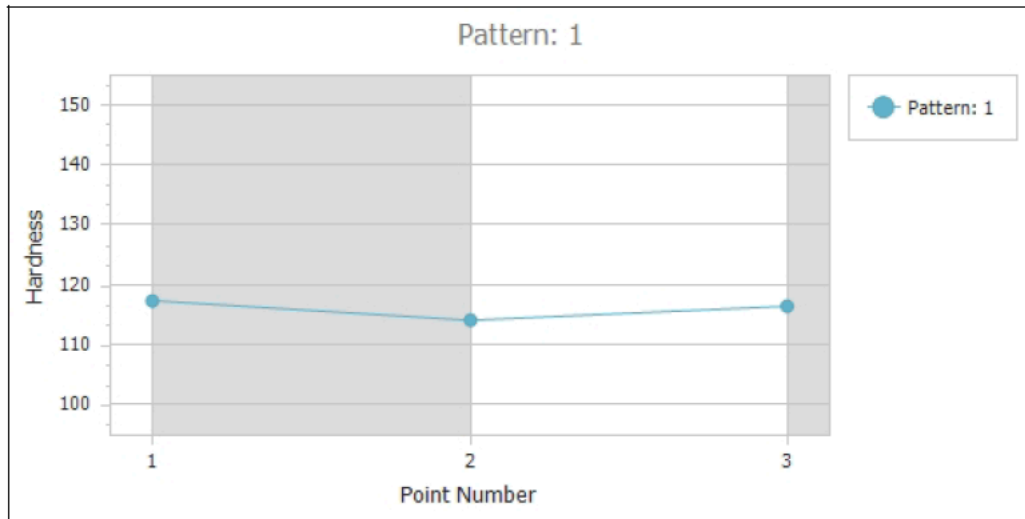
33% HNO₃ 24h 0,5% NaOH, Cu

Hardness Test Information

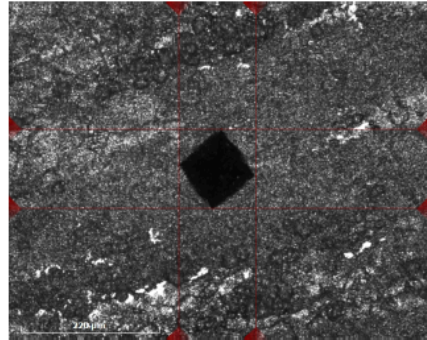
Method	VICKERS
Hardness scale	HV1
Dwell time	10 sec.

Test Pattern

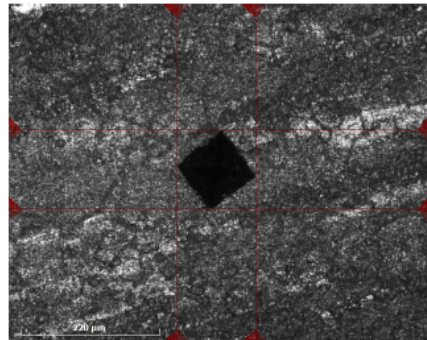
Diagrams



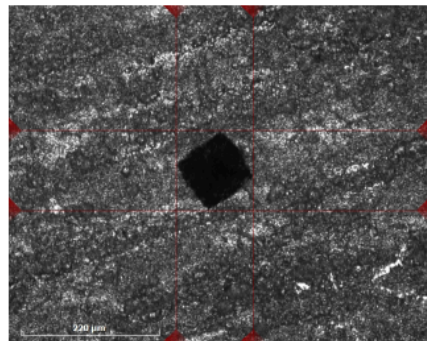
ID 1
Hardness 117.3 HV1
d1 0.1240 mm
d2 0.1274 mm
position x: 105.41 mm
 y: 84.00 mm
Conversions
Time 3:04:03 PM



ID 2
Hardness 114.01 HV1
d1 0.1270 mm
d2 0.1281 mm
position x: 105.08 mm
 y: 84.72 mm
Conversions
Time 3:04:55 PM



ID 3
Hardness 116.37 HV1
d1 0.1244 mm
d2 0.1281 mm
position x: 104.42 mm
 y: 85.57 mm
Conversions
Time 3:06:04 PM



Measurement Tables

Pattern: 1

Measurement Index	Result
1	117.3 HV1
2	114.01 HV1
3	116.37 HV1

Statistics

Pattern	Mean	Min	Max	SD	Range	USL	LSL	Cp	Cpk
---------	------	-----	-----	----	-------	-----	-----	----	-----

1	115.89	114.01	117.30	1.69	3.28	0.00	0.00	0.00	-22.82
---	--------	--------	--------	------	------	------	------	------	--------



Struers ApS

Pederstrupvej 84
2750 Ballerup
Denmark

+45 44 600 800
www.struers.com

General Information

Date	May 05, 2022
Operator	admin
Hardness tester type	DURAMIN-40 AC1

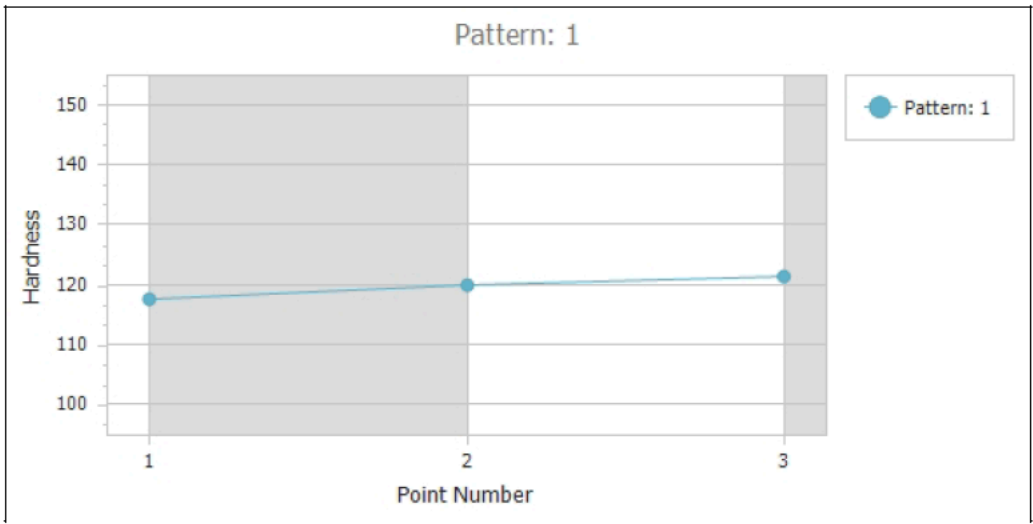
33% HNO₃ 48h 5% NaOH

Hardness Test Information

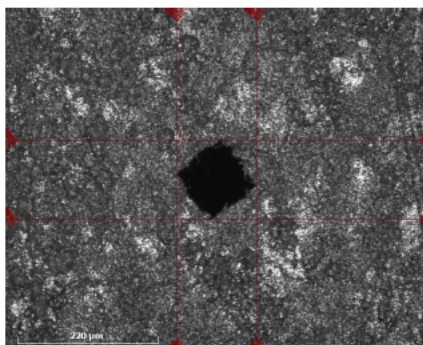
Method	VICKERS
Hardness scale	HV1
Dwell time	10 sec.

Test Pattern

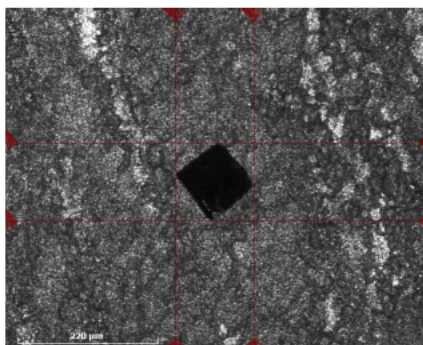
Diagrams



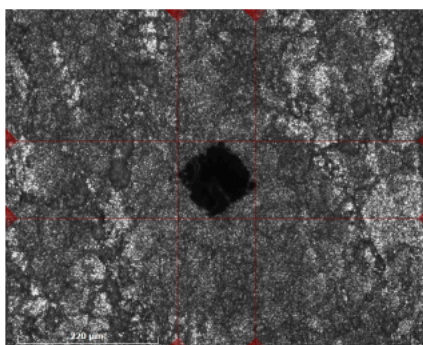
ID 1
Hardness 117.54 HV1
d1 0.1272 mm
d2 0.1241 mm
position x: 108.99 mm
 y: 65.38 mm
Conversions
Time 2:04:31 PM



ID 2
Hardness 119.92 HV1
d1 0.1249 mm
d2 0.1238 mm
position x: 108.48 mm
 y: 68.61 mm
Conversions
Time 2:06:23 PM



ID 3
Hardness 121.34 HV1
d1 0.1244 mm
d2 0.1228 mm
position x: 107.86 mm
 y: 69.60 mm
Conversions
Time 2:07:26 PM



Measurement Tables

Pattern: 1

Measurement Index	Result
1	117.54 HV1
2	119.92 HV1
3	121.34 HV1

Statistics

Pattern	Mean	Min	Max	SD	Range	USL	LSL	Cp	Cpk
---------	------	-----	-----	----	-------	-----	-----	----	-----

1	119.60	117.54	121.34	1.92	3.79	0.00	0.00	0.00	-20.81
---	--------	--------	--------	------	------	------	------	------	--------



Struers ApS

Pederstrupvej 84
2750 Ballerup
Denmark

+45 44 600 800

www.struers.com

General Information

Date	May 03, 2022
Operator	admin
Hardness tester type	DURAMIN-40 AC1

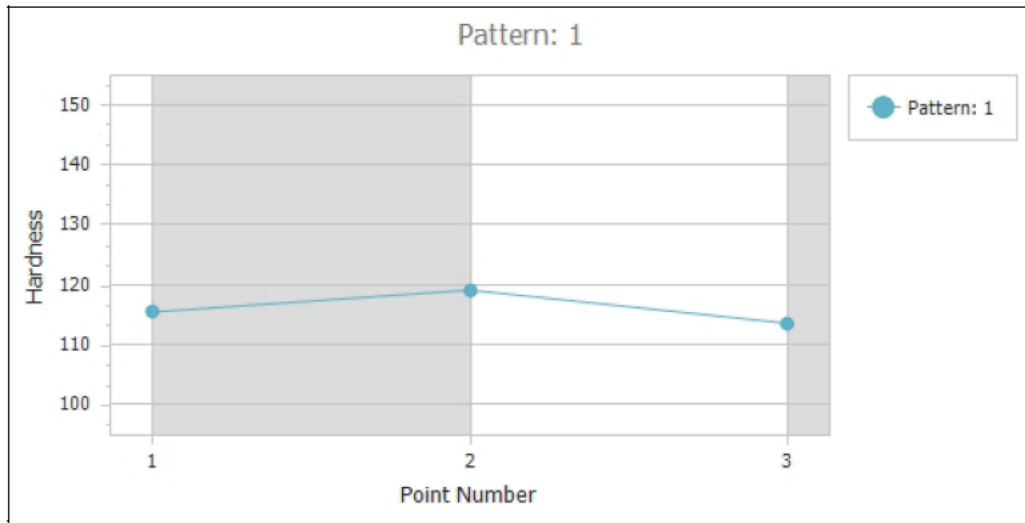
33% HNO₃ 24h 0,5% NaOH, slipt

Hardness Test Information

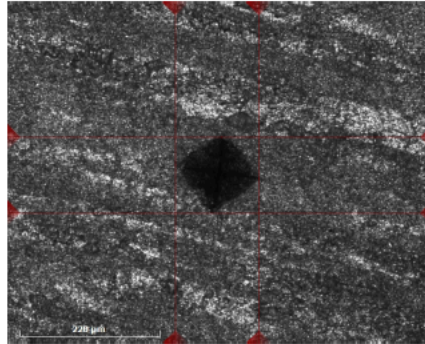
Method	VICKERS
Hardness scale	HV1
Dwell time	10 sec.

Test Pattern

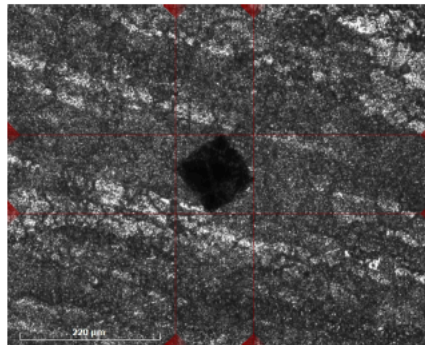
Diagrams



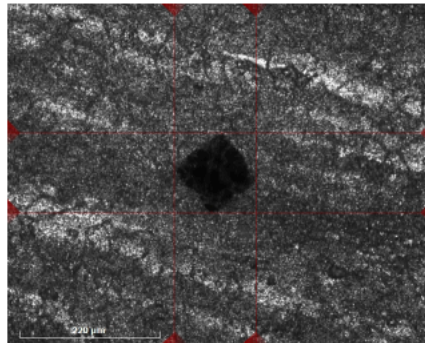
ID 1
Hardness 115.4 HV1
d1 0.1334 mm
d2 0.1201 mm
position x: 107.96 mm
 y: 82.08 mm
Conversions
Time 2:56:37 PM



ID 2
Hardness 119.07 HV1
d1 0.1240 mm
d2 0.1256 mm
position x: 106.69 mm
 y: 83.28 mm
Conversions
Time 2:59:02 PM



ID 3
Hardness 113.51 HV1
d1 0.1293 mm
d2 0.1263 mm
position x: 105.76 mm
 y: 83.76 mm
Conversions
Time 3:00:08 PM



Measurement Tables

Pattern: 1

Measurement Index	Result
1	115.4 HV1
2	119.07 HV1
3	113.51 HV1

Statistics

Pattern	Mean	Min	Max	SD	Range	USL	LSL	Cp	Cpk
---------	------	-----	-----	----	-------	-----	-----	----	-----

1	116.00	113.51	119.07	2.83	5.56	0.00	0.00	0.00	-13.68
---	--------	--------	--------	------	------	------	------	------	--------



Struers ApS

Pederstrupvej 84
2750 Ballerup
Denmark

+45 44 600 800

www.struers.com

General Information

Date	May 03, 2022
Operator	admin
Hardness tester type	DURAMIN-40 AC1

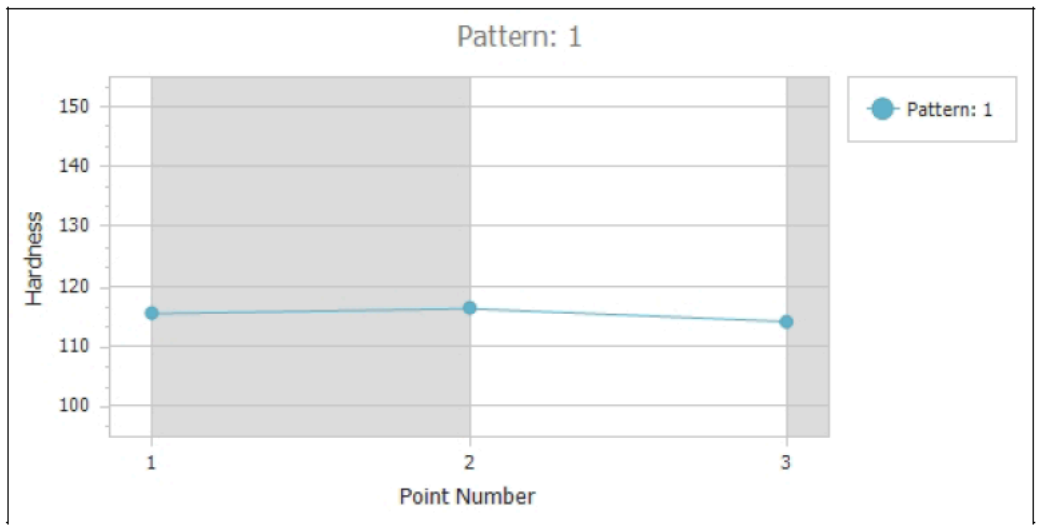
Upassivert aluminium

Hardness Test Information

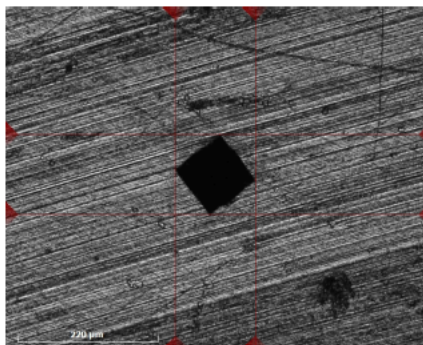
Method	VICKERS
Hardness scale	HV1
Dwell time	10 sec.

Test Pattern

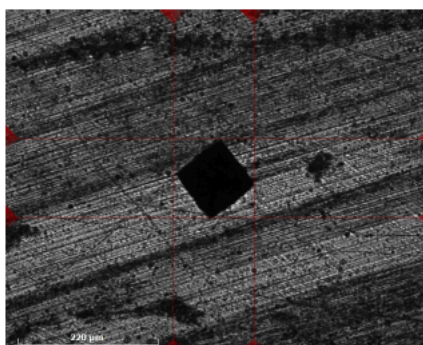
Diagrams



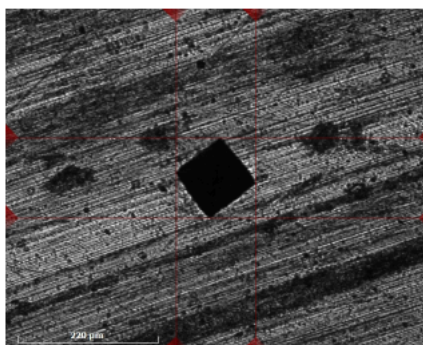
ID 1
Hardness 115.38 HV1
d1 0.1272 mm
d2 0.1264 mm
position x: 109.38 mm
 y: 79.56 mm
Conversions
Time 2:47:51 PM



ID 2
Hardness 116.23 HV1
d1 0.1272 mm
d2 0.1254 mm
position x: 108.89 mm
 y: 80.43 mm
Conversions
Time 2:48:57 PM



ID 3
Hardness 114.06 HV1
d1 0.1275 mm
d2 0.1276 mm
position x: 108.51 mm
 y: 81.18 mm
Conversions
Time 2:50:13 PM



Measurement Tables

Pattern: 1

Measurement Index	Result
1	115.38 HV1
2	116.23 HV1
3	114.06 HV1

Statistics

Pattern	Mean	Min	Max	SD	Range	USL	LSL	Cp	Cpk
---------	------	-----	-----	----	-------	-----	-----	----	-----

1	115.22	114.06	116.23	1.09	2.17	0.00	0.00	0.00	-35.12
---	--------	--------	--------	------	------	------	------	------	--------





Struers ApS

Pederstrupvej 84
2750 Ballerup
Denmark

+45 44 600 800

www.struers.com

General Information

Date	May 03, 2022
Operator	admin
Hardness tester type	DURAMIN-40 AC1

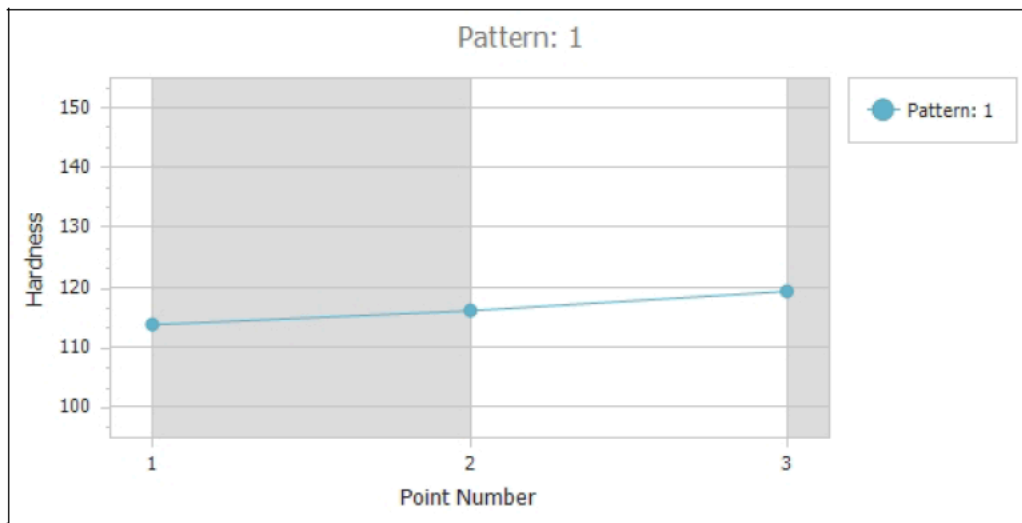
35% HNO3 2h 0,5% NaOH

Hardness Test Information

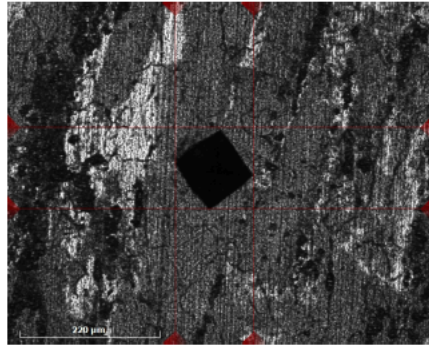
Method	VICKERS
Hardness scale	HV1
Dwell time	10 sec.

Test Pattern

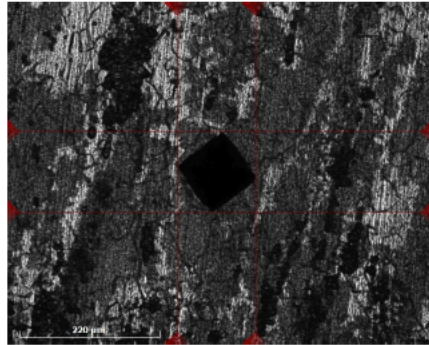
Diagrams



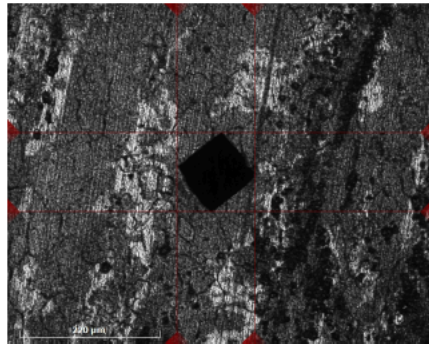
ID 1
Hardness 113.7 HV1
d1 0.1264 mm
d2 0.1290 mm
position x: 109.98 mm
 y: 76.67 mm
Conversions
Time 2:39:51 PM



ID 2
Hardness 116.02 HV1
d1 0.1250 mm
d2 0.1279 mm
position x: 109.73 mm
 y: 78.05 mm
Conversions
Time 2:41:15 PM



ID 3
Hardness 119.27 HV1
d1 0.1231 mm
d2 0.1263 mm
position x: 109.83 mm
 y: 79.25 mm
Conversions
Time 2:42:46 PM



Measurement Tables

Pattern: 1

Measurement Index	Result
1	113.7 HV1
2	116.02 HV1
3	119.27 HV1

Statistics

Pattern	Mean	Min	Max	SD	Range	USL	LSL	Cp	Cpk
---------	------	-----	-----	----	-------	-----	-----	----	-----

1	116.33	113.70	119.27	2.80	5.57	0.00	0.00	0.00	-13.86
---	--------	--------	--------	------	------	------	------	------	--------



Struers ApS

Pederstrupvej 84
2750 Ballerup
Denmark

+45 44 600 800

www.struers.com

General Information

Date	May 03, 2022
Operator	admin
Hardness tester type	DURAMIN-40 AC1

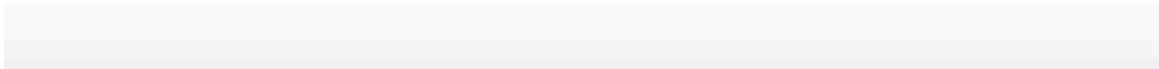
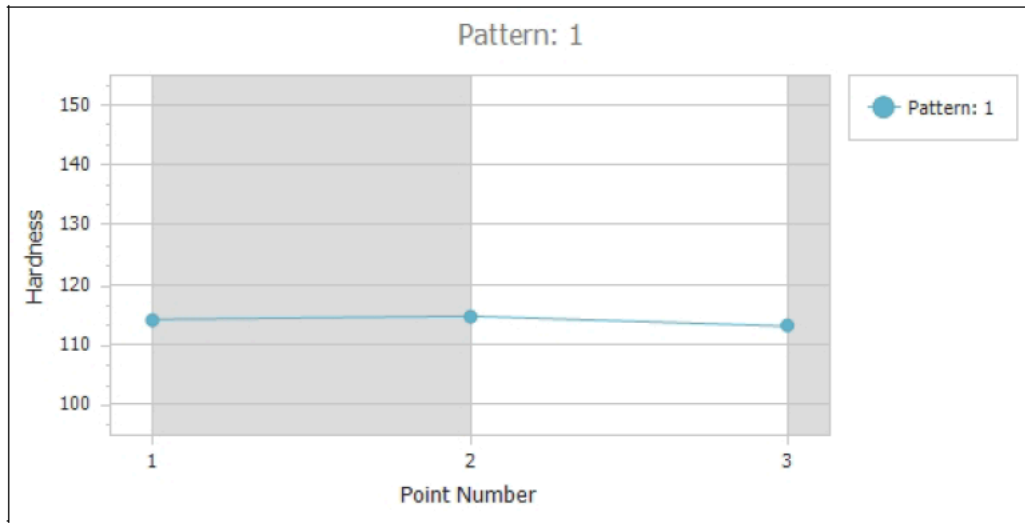
45% HNO₃ 24h 0,5% NaOH

Hardness Test Information

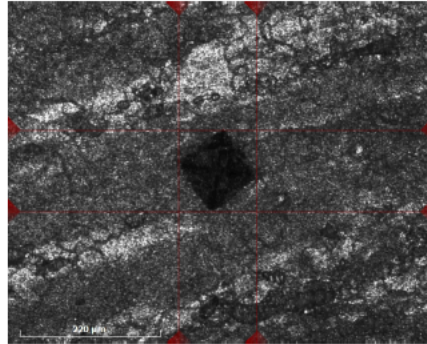
Method	VICKERS
Hardness scale	HV1
Dwell time	10 sec.

Test Pattern

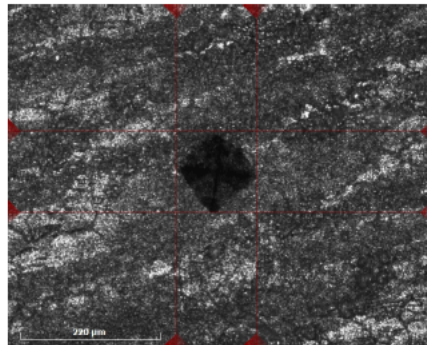
Diagrams



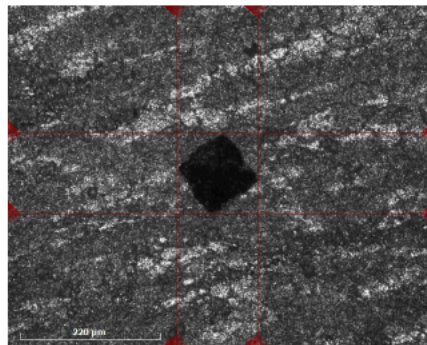
ID 1
Hardness 114.16 HV1
d1 0.1255 mm
d2 0.1294 mm
position x: 110.13 mm
 y: 74.03 mm
Conversions
Time 2:29:53 PM



ID 2
Hardness 114.7 HV1
d1 0.1269 mm
d2 0.1274 mm
position x: 110.05 mm
 y: 75.25 mm
Conversions
Time 2:31:00 PM



ID 3
Hardness 113.02 HV1
d1 0.1285 mm
d2 0.1277 mm
position x: 109.92 mm
 y: 76.19 mm
Conversions
Time 2:32:10 PM



Measurement Tables

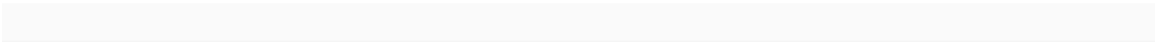
Pattern: 1

Measurement Index	Result
1	114.16 HV1
2	114.7 HV1
3	113.02 HV1

Statistics

Pattern	Mean	Min	Max	SD	Range	USL	LSL	Cp	Cpk
---------	------	-----	-----	----	-------	-----	-----	----	-----

1	113.96	113.02	114.70	0.86	1.69	0.00	0.00	0.00	-44.10
---	--------	--------	--------	------	------	------	------	------	--------





Struers ApS

Pederstrupvej 84
2750 Ballerup
Denmark

+45 44 600 800

www.struers.com

General Information

Date	May 03, 2022
Operator	admin
Hardness tester type	DURAMIN-40 AC1

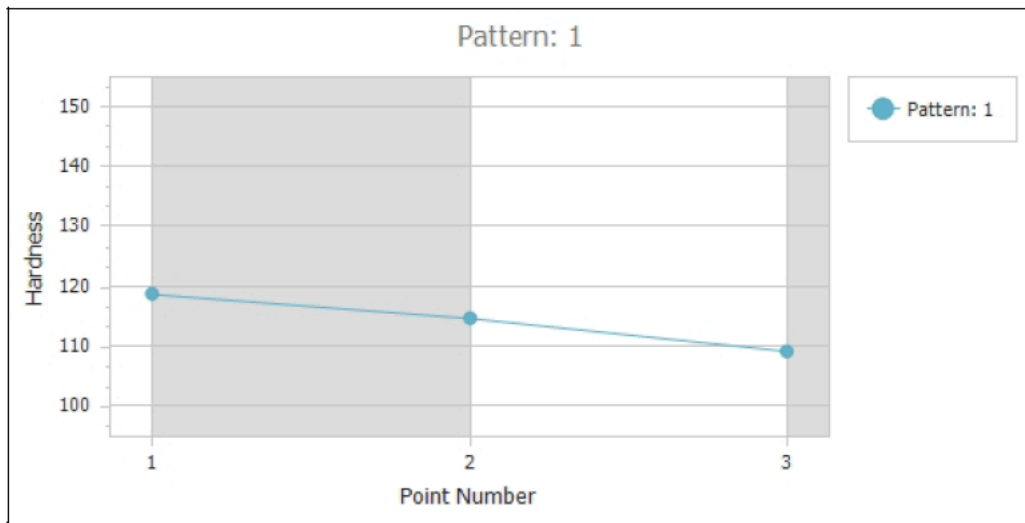
33% HNO₃ 24h 5% NaOH

Hardness Test Information

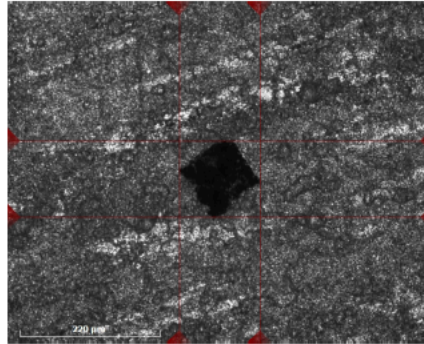
Method	VICKERS
Hardness scale	HV1
Dwell time	10 sec.

Test Pattern

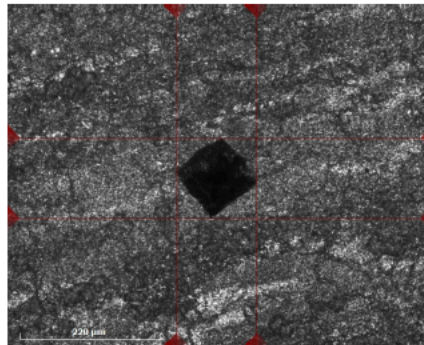
Diagrams



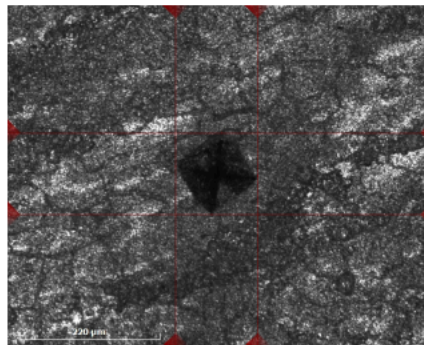
ID 1
Hardness 118.58 HV1
d1 0.1291 mm
d2 0.1210 mm
position x: 110.40 mm
 y: 71.59 mm
Conversions
Time 2:22:40 PM



ID 2
Hardness 114.55 HV1
d1 0.1278 mm
d2 0.1267 mm
position x: 110.21 mm
 y: 73.00 mm
Conversions
Time 2:23:42 PM



ID 3
Hardness 109.06 HV1
d1 0.1309 mm
d2 0.1299 mm
position x: 110.16 mm
 y: 73.86 mm
Conversions
Time 2:24:46 PM



Measurement Tables

Pattern: 1

Measurement Index	Result
1	118.58 HV1
2	114.55 HV1
3	109.06 HV1

Statistics

Pattern	Mean	Min	Max	SD	Range	USL	LSL	Cp	Cpk
---------	------	-----	-----	----	-------	-----	-----	----	-----

1	114.06	109.06	118.58	4.78	9.53	0.00	0.00	0.00	-7.95
---	--------	--------	--------	------	------	------	------	------	-------



Struers ApS

Pederstrupvej 84
2750 Ballerup
Denmark

+45 44 600 800

www.struers.com

General Information

Date	May 03, 2022
Operator	admin
Hardness tester type	DURAMIN-40 AC1

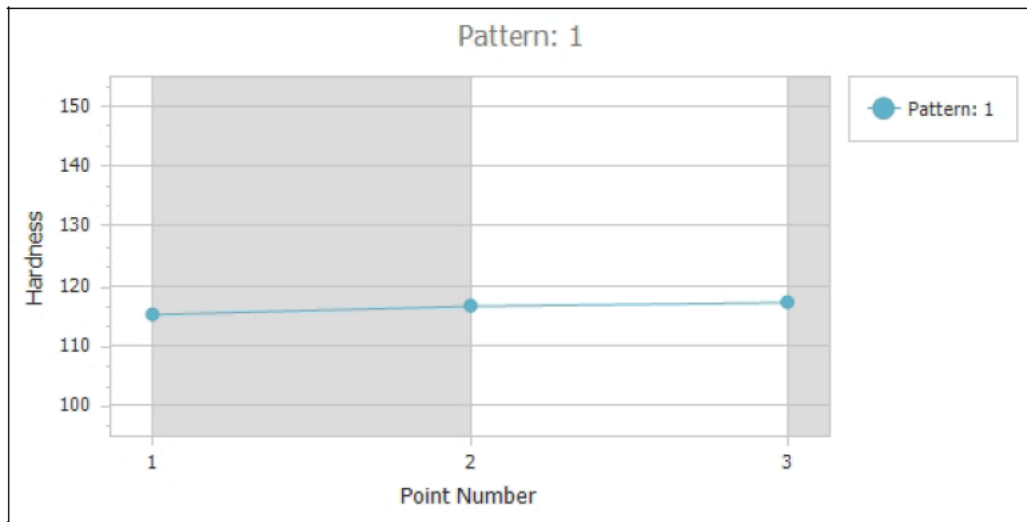
33% HNO₃ 48h 0,5% NaOH

Hardness Test Information

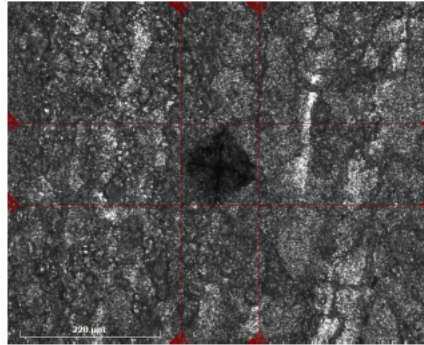
Method	VICKERS
Hardness scale	HV1
Dwell time	10 sec.

Test Pattern

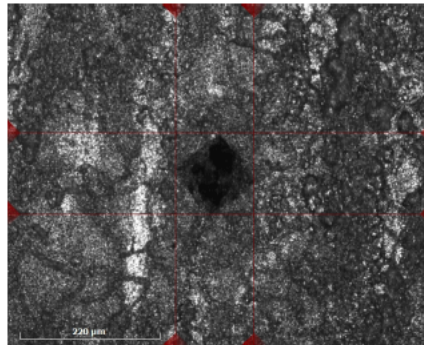
Diagrams



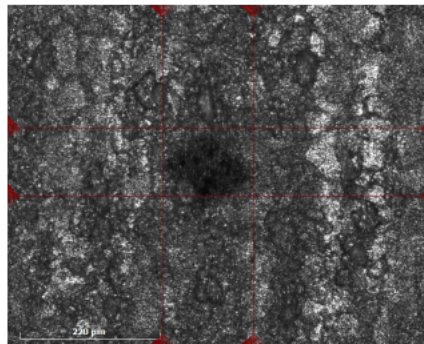
ID 1
Hardness 115.16 HV1
d1 0.1251 mm
d2 0.1286 mm
position x: 108.79 mm
 y: 65.64 mm
Conversions
Time 2:13:06 PM



ID 2
Hardness 116.53 HV1
d1 0.1247 mm
d2 0.1276 mm
position x: 109.64 mm
 y: 67.06 mm
Conversions
Time 2:14:22 PM



ID 3
Hardness 117.17 HV1
d1 0.1445 mm
d2 0.1071 mm
position x: 110.40 mm
 y: 71.59 mm
Conversions
Time 2:18:47 PM



Measurement Tables

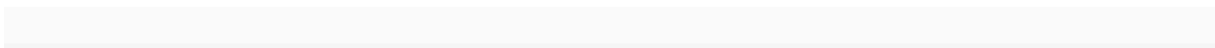
Pattern: 1

Measurement Index	Result
1	115.16 HV1
2	116.53 HV1
3	117.17 HV1

Statistics

Pattern	Mean	Min	Max	SD	Range	USL	LSL	Cp	Cpk
---------	------	-----	-----	----	-------	-----	-----	----	-----

1	116.29	115.16	117.17	1.02	2.01	0.00	0.00	0.00	-37.84
---	--------	--------	--------	------	------	------	------	------	--------





Struers ApS
Pederstrupvej 84
2750 Ballerup
Denmark
+45 44 600 800
www.struers.com

General Information

Date	May 05, 2022
Operator	admin
Hardness tester type	DURAMIN-40 AC1

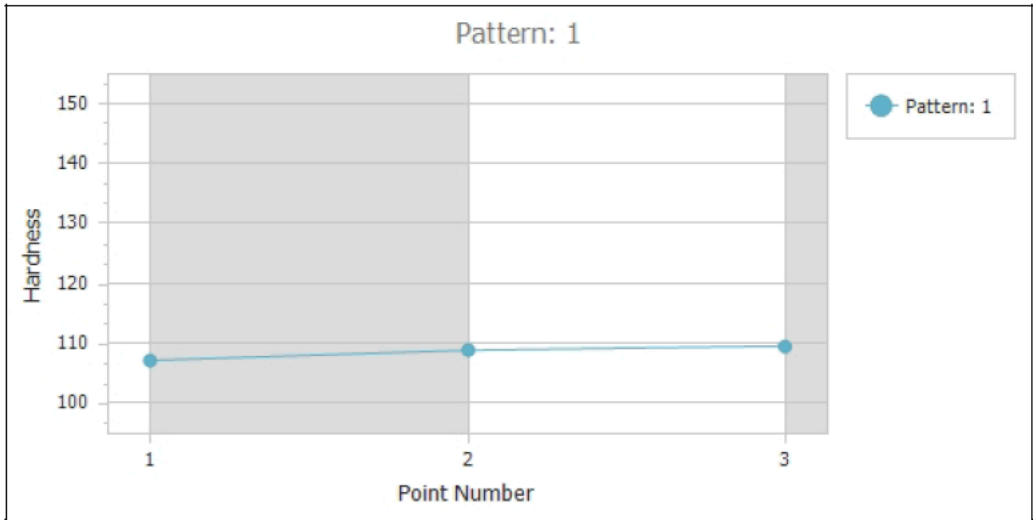
33% HNO3 72h 0,5% NaOH

Hardness Test Information

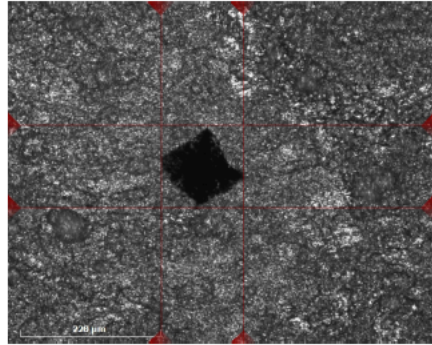
Method	VICKERS
Hardness scale	HV1
Dwell time	10 sec.

Test Pattern

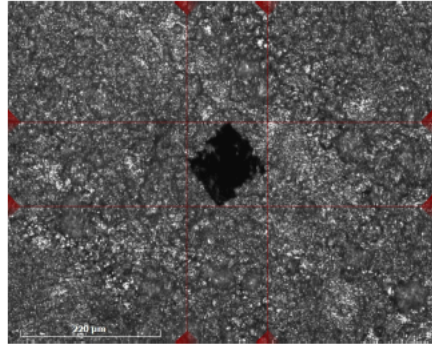
Diagrams



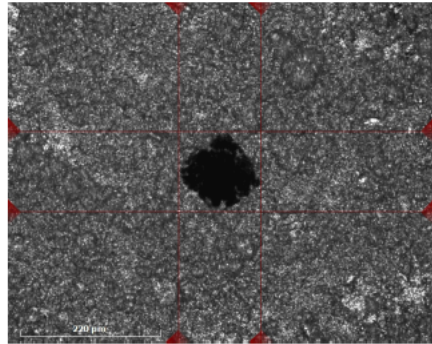
ID 1
Hardness 107.05 HV1
d1 0.1335 mm
d2 0.1297 mm
position x: 110.86 mm
 y: 61.21 mm
Conversions
Time 1:54:01 PM



ID 2
Hardness 108.73 HV1
d1 0.1281 mm
d2 0.1331 mm
position x: 110.13 mm
 y: 62.94 mm
Conversions
Time 1:57:58 PM



ID 3
Hardness 109.45 HV1
d1 0.1327 mm
d2 0.1277 mm
position x: 108.99 mm
 y: 64.98 mm
Conversions
Time 1:59:11 PM



Measurement Tables

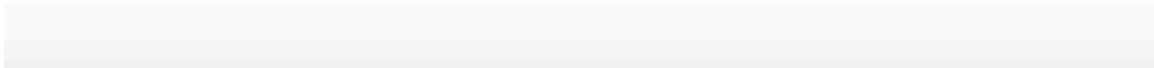
Pattern: 1

Measurement Index	Result
1	107.05 HV1
2	108.73 HV1
3	109.45 HV1

Statistics

Pattern	Mean	Min	Max	SD	Range	USL	LSL	Cp	Cpk
---------	------	-----	-----	----	-------	-----	-----	----	-----

1	108.41	107.05	109.45	1.23	2.40	0.00	0.00	0.00	-29.31
---	--------	--------	--------	------	------	------	------	------	--------





Struers ApS

Pederstrupvej 84
2750 Ballerup
Denmark

+45 44 600 800
www.struers.com

General Information

Date	May 03, 2022
Operator	admin
Hardness tester type	DURAMIN-40 AC1

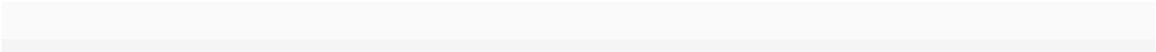
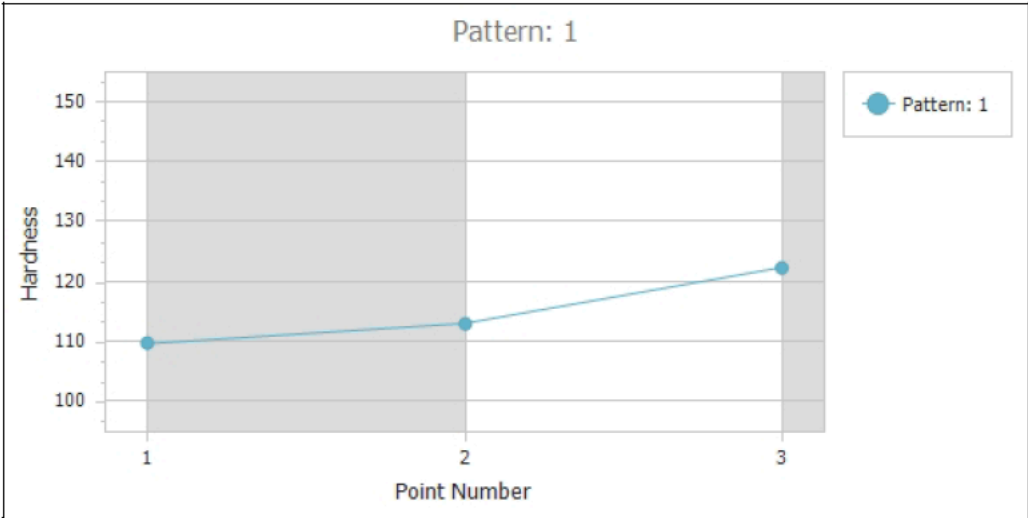
33% HNO₃ 24h 0,5% NaOH

Hardness Test Information

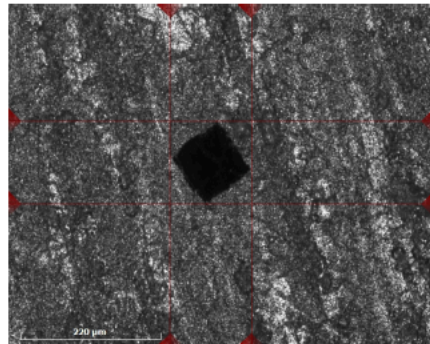
Method	VICKERS
Hardness scale	HV1
Dwell time	10 sec.

Test Pattern

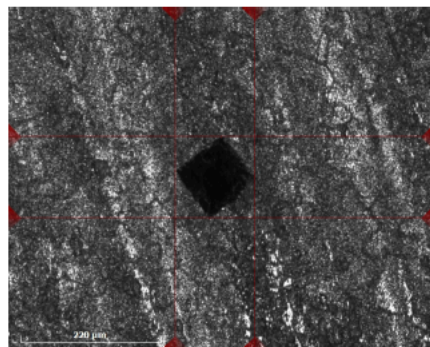
Diagrams



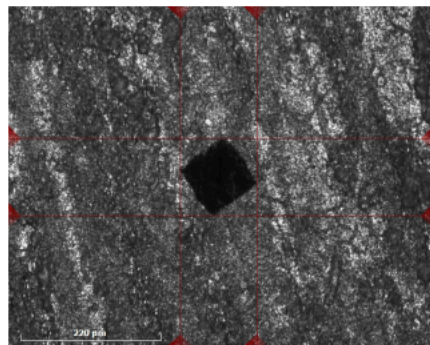
ID 1
Hardness 109.53 HV1
d1 0.1294 mm
d2 0.1309 mm
position x: 109.22 mm
 y: 62.98 mm
Conversions
Time 1:59:58 PM



ID 2
Hardness 112.93 HV1
d1 0.1269 mm
d2 0.1294 mm
position x: 109.67 mm
 y: 63.84 mm
Conversions
Time 2:01:24 PM



ID 3
Hardness 122.29 HV1
d1 0.1232 mm
d2 0.1231 mm
position x: 108.84 mm
 y: 65.15 mm
Conversions
Time 2:03:01 PM



Measurement Tables

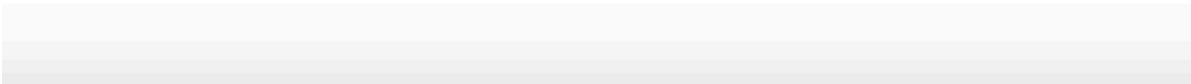
Pattern: 1

Measurement Index	Result
1	109.53 HV1
2	112.93 HV1
3	122.29 HV1

Statistics

Pattern	Mean	Min	Max	SD	Range	USL	LSL	Cp	Cpk
---------	------	-----	-----	----	-------	-----	-----	----	-----

1	114.92	109.53	122.29	6.61	12.76	0.00	0.00	0.00	-5.80
---	--------	--------	--------	------	-------	------	------	------	-------



F Risikovurdering

RISIKOANALYSE (alternativ til bruk av RiskManager)

Emneformidling	NTNU							Dato rapporten: 25.01.2022			
Ansvarlig for aktiviteten som risikovurdering	Jan-Magne Strøm							Sist revidert: 28.01.2022			
Ansvarlig for aktiviteten som risikovurdering	Ane Loddland og Vidie Mida Meling										
Ansvarlig for aktiviteten som risikovurdering	Ane Loddland og Vidie Mida Meling										
Ansvarlig for aktiviteten som risikovurdering	Liv Anlie Nordahl og Andrew Kondraty										

Beskrivelse av den aktuelle aktiviteten, omrøddet mv.:

Identifikasjon av risikofaktorer	Utsatte personer/aktivitet	Exakt/estimerede eksponeringsnivå	Vurdering av eksponering (S)	Menneske (1-5)	Vurdering av eksponering (S)	Risiko (S x K)	Risiko (S x K)
Rekling med 0,3% NaOH	Innspjett på hud og øyne ved kontakt	Svift tildekket hud og øyne eller i svake deler av kroppen har kontakt med rekling	4	1	4	4	3
Rekling med 3% NaOH	Eksposisjon på hud og øyne ved kontakt	Svift tildekket hud og øyne eller i svake deler av kroppen har kontakt med rekling	3	2	6	4	4
Rekling med 10% NaOH	Eksposisjon på hud og øyne ved kontakt	Svift tildekket hud og øyne eller i svake deler av kroppen har kontakt med rekling	3	2	6	4	4
Rekling med 20% NaOH	Eksposisjon på hud og øyne ved kontakt	Svift tildekket hud og øyne eller i svake deler av kroppen har kontakt med rekling	3	2	6	4	4
Rekling med 30% NaOH	Eksposisjon på hud og øyne ved kontakt	Svift tildekket hud og øyne eller i svake deler av kroppen har kontakt med rekling	3	2	6	4	4
Rekling med 40% NaOH	Eksposisjon på hud og øyne ved kontakt	Svift tildekket hud og øyne eller i svake deler av kroppen har kontakt med rekling	3	2	6	4	4
Rekling med 50% NaOH	Eksposisjon på hud og øyne ved kontakt	Svift tildekket hud og øyne eller i svake deler av kroppen har kontakt med rekling	3	2	6	4	4
Rekling med 60% NaOH	Eksposisjon på hud og øyne ved kontakt	Svift tildekket hud og øyne eller i svake deler av kroppen har kontakt med rekling	3	2	6	4	4
Rekling med 70% NaOH	Eksposisjon på hud og øyne ved kontakt	Svift tildekket hud og øyne eller i svake deler av kroppen har kontakt med rekling	3	2	6	4	4
Rekling med 80% NaOH	Eksposisjon på hud og øyne ved kontakt	Svift tildekket hud og øyne eller i svake deler av kroppen har kontakt med rekling	3	2	6	4	4
Rekling med 90% NaOH	Eksposisjon på hud og øyne ved kontakt	Svift tildekket hud og øyne eller i svake deler av kroppen har kontakt med rekling	3	2	6	4	4
Rekling med 100% NaOH	Eksposisjon på hud og øyne ved kontakt	Svift tildekket hud og øyne eller i svake deler av kroppen har kontakt med rekling	3	2	6	4	4
Rekling med 110% NaOH	Eksposisjon på hud og øyne ved kontakt	Svift tildekket hud og øyne eller i svake deler av kroppen har kontakt med rekling	3	2	6	4	4
Rekling med 120% NaOH	Eksposisjon på hud og øyne ved kontakt	Svift tildekket hud og øyne eller i svake deler av kroppen har kontakt med rekling	3	2	6	4	4
Rekling med 130% NaOH	Eksposisjon på hud og øyne ved kontakt	Svift tildekket hud og øyne eller i svake deler av kroppen har kontakt med rekling	3	2	6	4	4
Rekling med 140% NaOH	Eksposisjon på hud og øyne ved kontakt	Svift tildekket hud og øyne eller i svake deler av kroppen har kontakt med rekling	3	2	6	4	4
Rekling med 150% NaOH	Eksposisjon på hud og øyne ved kontakt	Svift tildekket hud og øyne eller i svake deler av kroppen har kontakt med rekling	3	2	6	4	4
Rekling med 160% NaOH	Eksposisjon på hud og øyne ved kontakt	Svift tildekket hud og øyne eller i svake deler av kroppen har kontakt med rekling	3	2	6	4	4
Rekling med 170% NaOH	Eksposisjon på hud og øyne ved kontakt	Svift tildekket hud og øyne eller i svake deler av kroppen har kontakt med rekling	3	2	6	4	4
Rekling med 180% NaOH	Eksposisjon på hud og øyne ved kontakt	Svift tildekket hud og øyne eller i svake deler av kroppen har kontakt med rekling	3	2	6	4	4
Rekling med 190% NaOH	Eksposisjon på hud og øyne ved kontakt	Svift tildekket hud og øyne eller i svake deler av kroppen har kontakt med rekling	3	2	6	4	4
Rekling med 200% NaOH	Eksposisjon på hud og øyne ved kontakt	Svift tildekket hud og øyne eller i svake deler av kroppen har kontakt med rekling	3	2	6	4	4

