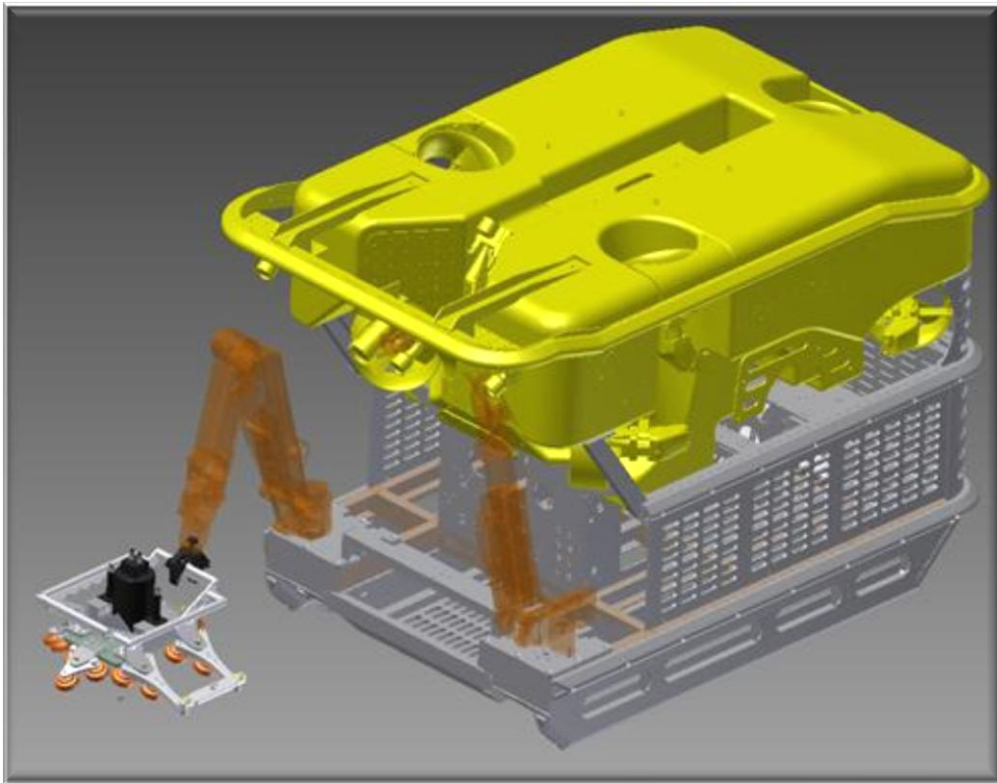




HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

Anvendelse av undervanns friksjonssveising



Bacheloroppgave utført ved Høgskolen

Stord/Haugesund – Avdeling Haugesund- Ingeniørfag

Studieretning: Maskin, Marin Konstruksjonsteknikk

Av: Kai Ove Hovden
Steinar Koppang
Svein Ove Vestre

Kand. Nr. 22

Kand. Nr. 19

Kand. Nr. 30

Haugesund

Våren 2013



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

DEEPOCEAN

HOVEDPROSJEKT

Studentenes navn: Kai Ove Hovden, Steinar Koppang og Svein Ove Vestre

Linje & studieretning Maskin, Marin konstruksjonsteknikk

Oppgavens tittel: Anvendelse av undervanns friksjonssveising

Oppgavetekst:

Oppgaven omhandler bruk av undervanns friksjonssveising av bolter.

DeepOcean AS ønsker å se på nye metoder for effektivisering av deres operasjoner rundt "Decommissioning", IMR ("Inspection, Maintenance & Repair") og konstruksjons- prosjekter.

Med bakgrunn i dette skal kandidatene belyse denne sveisemetoden, for deretter å se på aktuelle bruksområder under vann.

Kandidatene ønsker å underbygge det teoretiske underlaget med labforsøk. Dersom essensielt utstyr ikke blir tilgjengelig, skal det likevel foreligge et aktuelt testprogram og beskrivelse av testoppsett.

Endelig oppgave gitt: 07.03.2013

Innleveringsfrist: Fredag 10.mai 2013 kl. 12.00

Intern veileder: Jens Chr. Lindaas – HSH, tlf: 52 70 26 70

Ekstern veileder: Jostein Førland – DeepOcean AS

Adresse ekstern veileder:

**Godkjent av
studieansvarlig:
Dato:**

Brit Fjellås
24/4 - 13

HOVEDPROSJEKT

Studentenes navn: Kai Ove Hovden, Steinar Koppang og Svein Ove Vestre

Linje & studieretning Maskin, Marin konstruksjonsteknikk

Oppgavens tittel: Anvendelse av undervanns friksjonssveising

Oppgavetekst:

Oppgaven omhandler bruk av undervanns friksjonssveising av bolter.

DeepOcean AS ønsker å se på nye metoder for effektivisering av deres operasjoner rundt decomissioning, IMR (Inspection, Maintenance & Repair) og konstruksjons-prosjekter.

I oppgaven skal en belyse denne sveisemetoden, for deretter å se på aktuelle bruksområder under vann. Kandidatene ønsker å underbygge det teoretiske underlaget med labforsøk. Dersom essensielt utstyr ikke blir tilgjengelig, skal det likevel foreligge et aktuelt testprogram og beskrivelse av testoppsett.

Endelig oppgave gitt: Onsdag 6.Mars 2013

Innleveringsfrist: Fredag 10.Mai 2013

Intern veileder: Jens Chr. Lindaas – HSH, tlf: 52 70 26 70

Ekstern veileder: Jostein Førland – DeepOcean AS

Adresse ekstern veileder:

**Godkjent av
studieansvarlig:**

Dato:



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

Høgskolen Stord/Haugesund

Studie for ingeniørfag

Bjørnsonsgt. 45

5528 HAUGESUND

Tlf. nr. 52 70 26 00

Faks nr. 52 70 26 01

Oppgavens tittel		Rapportnummer
Anvendelse av undervanns friksjonssveising		(Fylles ikke ut)
Utført av		
Kai Ove Hovden, Steinar Koppang, og Svein Ove Vestre		
Linje	Studieretning	
Maskin	Marin Konstruksjonsteknikk	
Gradering	Innlevert dato	Veiledere
Åpen		Jens Christian Lindaas

Ekstrakt

Rapporten tar for seg parametrene som innvirker på friksjonssveising og hvilke utfordringer friksjonssveisingen som metode møter i undervannsmiljøet.

Rapporten fremlegger et laboratoriumsoppsett for videre arbeid og bekreftelse på det teoretiske forarbeidet.

Forord

Denne rapporten er en dokumentasjon av vår hovedoppgave for studieretningen Ingeniørfag maskin, med fordypning i Marin Konstruksjonsteknikk, ved Høgskolen Stord/Haugesund. Oppgaven er gitt av DeepOcean AS og omhandler bruk av friksjonssveising under vann. De ønsker å få et innblikk i denne sveisemetoden samt å se på hvilke anvendelsesområder de kan nytte denne metoden på i forbindelse med deres undervannsoperasjoner. De emnefag som har gitt oss grunnlag å løse oppgaven er spesielt maskinkonstruksjon, materiallære, tilvirkningsfaget og undervannsteknologi. Oppgaven ble valgt nettopp ut fra at denne problemstillingen hadde den kombinasjonen av emner som gruppen ønsket å skrive om. I tillegg appellerte problemstillingen da den var ukjent for oss og siden dette er et område der ”research” og nytenkning spiller en stor rolle. Særlig gjaldt dette dersom det skulle vise seg at metoden var anvendelig for undervannsoperasjoner utover det som er i bruk per i dag. Dette ville da kunne effektivisere arbeidsoperasjonene under vann og gi rom for nye muligheter.

Vi vil takke DeepOcean og vår eksterne veileder Jostein Førland for oppgaven og all den gode hjelp og støtte underveis i arbeidet med rapporten.

Vi vil også nytte anledningen til å takke vår interne veileder Jens Christian Lindås for god hjelp og veiledning med vår rapport.

Haugesund, 10-mai-2013

Kai Ove Hovden

Steinar Koppang

Svein Ove Vestre

Innhold

Forord.....	i
Figurliste.....	iv
Sammendrag	vi
1. Innledning	1
1.1. Bakgrunn	1
1.2. Målsetning	1
1.3. Deep Ocean.....	1
1.3.1. Generelt	1
1.3.2. Kort om ROV Operasjoner	2
1.3.3. ROV verktøy i Deep Oceans undervannsoperasjoner.....	3
1.4. Forkortelser og betydninger.....	4
1.5. Metoder for å løse oppgaven	4
1.6. Avgrensninger	5
2. Eksisterende metoder og utstyr for friksjonssveising.....	5
2.1. Beskrivelse av eksisterende metoder.....	5
2.1.1. Roterende friksjonssveising	5
2.1.2. Lineær friksjonssveising.....	8
2.2. Beskrivelse av eksisterende utstyr til bruk under vann.....	8
2.2.1. Pneumatisk drevet R1004 portabelt FS verktøy	8
2.2.2. Hydraulisk drevet HMS 3000 portabelt FS verktøy	9
3. Friksjonssveising prinsippet	11
3.1. Aktuell materialteori	11
3.1.1. Oppbygningen av metaller	11
3.1.2. Metallenes gitterstruktur.....	11
3.2. Hva skjer rent grunnleggende ved friksjonssveising.....	15
3.2.1. Praktisk utredning om prinsippet bak friksjonssveising.....	16
3.3. Hovedparametre for friksjonssveising	18
3.3.1. Rotasjon	19
3.3.2. Påtrykket	19
3.3.3. Sveisetid	20
3.3.4. Bortbrenning av avsett	20
3.3.5. Fremstilling av Meyers ”påvirkninger av sveiseparameterne”	20
4. Forberedelse av labforsøk.....	21

4.1.	Hvilke metode for laboratorium forsøk kan benyttes	21
4.1.1.	Teoretiske beregninger basert på forsøksstall	21
4.1.2.	Bruk av reelt utstyr.....	23
4.1.3.	Strekprøve	23
4.1.4.	Bøyepøving	23
4.1.5.	Metallografisk undersøkelse.....	23
4.2.	Forberedelser til forsøk	24
4.2.1.	Forberedelser til forsøk av friksjonssveiste forbindelser	24
4.3.	Forhold som kan få resultater forkastet og måter å unngå det	25
4.4.	Skisse testoppsett.....	25
4.5.	Fremgangsmåte for laboratoriums forsøk	26
4.5.1.	Påtrykk	26
4.5.2.	Rotasjonshastighet.....	26
4.5.3.	Bortbrenning	27
4.5.4.	Forsøk 1:.....	27
4.5.5.	Forsøk 2:.....	27
4.5.6.	Utstyr/testoppsett	28
	Forsøk 1.....	28
4.5.7.	Sikkerhetstiltak for laboratorium forsøk	31
4.5.8.	Sette opp en testplan.....	32
4.5.9.	Testparametre/ Måleoppsett/ Instrumentering/Målesikkerhet.	34
5.	Utfordring rundt marinisering av verktøyet	36
5.1.	Utfordringer for utstyr omgitt av sjøvann.....	37
5.2.	Spesifikke forhold vedrørende friksjonssveising under vann.....	38
5.2.1.	Hydrogensprøhet.....	38
5.2.2.	Utfordringer med de store krefter involvert i FS under vann	39
5.2.3.	Bestemmelse av nødvendig holde- og klemme kraft til FS prosessen	42
6.	Herdingsproblematikk	45
6.1.	Fase- og TTT-diagram rundt herding av stål.....	45
7.	Sammenligninger.....	49
8.	Aktuelle bruksområder.....	50
8.1.	Tetting av skrogskader.....	50
8.2.	”Hot-tapping”	51
8.3.	Rivningsarbeide (“decommissioning”)	52

8.4. Anode tilkopling.....	52
8.5. Strukturelle tilknytninger	53
8.6. Holdepunkt for ROV.....	53
9. Diskusjon / Anbefalt videre arbeid	54
10. Konklusjon	57
Referanser	I
Bibliografi.....	I
Vedleggliste	III

Figurliste

Figur 1: Observasjons ROV (1)	2
Figur 2: Arbeids- ROV (2) Figur 3 :Jet Trencher (3)	3
Figur 4: ROV med plog (4)	3
Figur 5 - Prinsippskisse "Inert" FS (6)	6
Figur 6 - Prinsippskisse Direkte drevet FS (6)	6
Figur 7 - Prinsippskisse Radial FS (6)	7
Figur 8 - Prinsippskisse FSW (6).....	7
Figur 9 - Prinsippskisse FTSW/FTPW (6)	8
Figur 10 - Prinsippskisse Lineær FS (6)	8
Figur 11 - R1004 verktøyet brukt med magnetklemme til reoperasjon i "splash-sonen" på en FPSO (7).....	9
Figur 12 - HMS3000, motor/sylinder (7)	9
Figur 14 - HMS3000 montert i spesialbygd "skid"	10
Figur 13 - ROV med HMS3000 skid (7)	10
Figur 15-Strukturcellen til heksagonal gitterstruktur (9).....	11
Figur 16- Strukturcellen til kubisk flatesentrert struktur (9)	12
Figur 17- Strukturcellen til kubisk romsentrert struktur (9)	12
Figur 18 - Strukturcellen til tetragonal romsentrert struktur (9).....	12
Figur 19 - Elastisk deformasjon av atomgitter (9)	13
Figur 20 - Typisk spenning-relativ forlengning sammenheng i metaller (10)	14
Figur 21- Plastisk deformasjon av atomgitter (9)	14
Figur 22 - Jern-karbon diagram (12)	15
Figur 23: Parameterutviklingen for friksjonssveising (14).....	16
Figur 24: Utviklingen av hver enkelt parameter i de forskjellige fasene. I:Gnidningsfase, II:Oppvarmingsfase, III: Bremsfase, IV: Stukefase (14).....	17
Figur 25: Parameternes innvirkning ved Friksjonssveising (14)	18
Figur 26: Forholdet mellom påtrykk og bortbrenning (18)	19
Figur 27: Skissering av strekkprøve fra en friksjonssveiset sammenføyning.....	23

Figur 28: Testoppsett	26
Figur 29: Blokkskjema for hydraulisk testoppsett.....	29
Figur 30: Bilde viser gjengede bolter som er varmgalvanisert (22).....	30
Figur 31: Kjettingtalje 5 t (27)	30
Figur 32: Laser tachometer (26)	30
Figur 33: Laser termometer (25)	30
Figur 34 - Mekanisk klemme for tilkopling av HMS3000 mot rørledning (7)	40
Figur 35 - Skjematisk tegning av ROV som opererer FS verktøy for montering av anodeslede til rørledning vha mekanisk klemmeanordning (7)	40
Figur 36 - R1004 FS verktøy låst til struktur vha magnetiske klemmer (7)	41
Figur 37 - Vakuumklemme brukt ifm FS ved R1004 verktøyet (7)	42
Figur 38 - Materialeegenskaper til den angitte testen (19)	43
Figur 39 - Reduksjonsfaktor av flytegrensen til konstruksjonsstål (19)	44
Figur 40: Kraft-Diameter forhold	45
Figur 41- Jern-jern karbon diagram (6)	46
Figur 42 - Martensittisk struktur (10).....	48
Figur 43 - Tid temperatur transformasjon diagram (TTT) (10)	48
Figur 44 - Skisse av reparasjonsmetode (8)	50
Figur 45 - Alternativ reparasjonsmetode (8).....	51
Figur 46 - Prinsippskisse "hot-tapping" (8)	52
Figur 47: Holdepunkt for ROV	53
Figur 48: Grafisk fremstilling Ansysresultat Figur 49: Holdepunkt ROV med kraftretning	54
Figur 50: "Subsea Drilling Machine" og dens fleksible magnetklemme	55
Figur 51: Prinsippskisse friksjonssveise utstyr i magnetklemme	56

Sammendrag

Rapporten tar for seg teorien rundt friksjonssveising generelt, og går videre inn i dybden ved marinisering og anvendelse av denne sveisemetoden under vann.

Oppgaven er gitt av DeepOcean AS som ønsker å se på sveisemetoden og hvilke muligheter denne kan bidra med i forbindelse med deres undervannsoperasjoner.

Det fokuseres på friksjonssveiseprinsippet og de forskjellige metodene som er anvendt, for siden å se på hvilket utstyr og hvilke leverandører som opererer utstyr ment for undervannsbruk i dag. Videre forklarer rapporten de grunnleggende prinsipper for roterende friksjonssveising og en ser på de utfordringene en møter ved å bruke metoden under vann. Dette innebærer blant annet en fordykning i materialteorien relevant for prosessen og spesielt de forskjellige fasene i sveiseprosessen, samt deres innvirkning på resultatet. I rapporten kommer en frem til at prosessen krever ganske store trykkrefter, noe som medfører at forskjellige klemmeanordninger for å kunne koble verktøyet opp mot ulike strukturer under vann må utredes, og det antydes at dette vil være et sentralt emne ved et videre arbeid med metoden. Rapporten inneholder også et testprogram som var tenkt anvendt for å teste og dokumentere friksjonssveising av bolteemner under vann. Da relevant utstyr ikke ble tilgjengelig fikk en ikke gjennomført selve testen. Det blir ellers foreslått en løsning på design av et midlertidig holdepunkt for ROV, hvor dette blir montert av en modifisert anordning av HMS3000 friksjonssveiseverktøyet montert i en magnetklemme. Dette ble tegnet og beregnet i Ansys, samt kontrollert med håndberegninger.

Det kommer frem av rapporten at for å kunne dokumentere og stadfeste teorien er en avhengig av å få gjennomført testene som er planlagt. Dette blant annet for å konstatere sveisekvaliteten og eventuell problematikk med herding i sveisesonen.



1. Innledning

1.1. Bakgrunn

Stadig flere undervannsoperasjoner i olje og gass bransjen utføres med ROV og flere arbeidsoppgaver krever utvikling av nye verktøy for å tilfredsstille de ønskede og mest ideelle arbeidsmetodene for de enkelte arbeidsoppgavene. Stadig nye utfordrende arbeidsoppgaver oppstår i undervannsmiljøet rundt olje- gassnæringen og Deep Ocean er et selskap som jobber inn mot denne næringen. I Deep Oceans virksomhet er behovet for ROV verktøy stort, fordi store deler av deres operasjoner er løst eller gjennomført med ROV og dens verktøy. Deres behov for å vite mest angående metodikken og muligheten rundt undervannsoperasjoner er helt klart tilstede og essensielt for deres hverdag og videre drift.

Som en del av ingeniørutdanningen ved Høgskolen Stord/Haugesund (HSH) skal det som en avslutning på studiet produseres en hovedoppgave. Hovedoppgaven skal behandle problemstillinger som har tilknytning til et eller flere av de underviste fagområder. Oppgaven skal utføres i samarbeid med en bedrift om en reell eller tenkt problemstilling. Gruppen tok da kontakt med DeepOcean for å fremme et ønske om en problemstilling i forbindelse med hovedoppgaven. Det ble så tildelt en oppgave som omhandler ” bruk av undervanns friksjonsbolt sveising”.

1.2. Målsetning

Målsetning for oppgaven er at DeepOcean ønsker å kartlegge aktuelle friksjonssveiseverktøy for undervannsbruk som er på markedet i dag. Samtidig vil de få et innblikk i denne teknologien generelt hva som kreves av utstyr og parametre. Videre ønsker de å finne ut hvor god kvalitet en kan oppnå med denne sveisemetoden med tanke på utvidet bruk av denne, for eksempel til bruk av festepunkter og eventuelt midlertidige holdepunkt under vann. Dette på grunnlag av at slikt utstyr kan være veldig kostnadseffektivt og nyttig i deres operasjoner.

1.3. Deep Ocean

Deep Ocean er en aktør innen undervannsoperasjoner som leverer tjenester til olje- og gassnæringen globalt. Kontorene deres finner man i byer i Norge, Storbritannia, Nederland, Brasil, Mexico og Singapore.

1.3.1. Generelt

Virksomhetene de arbeider innenfor er:

- Sjøbunnskartlegging og ”Survey”
- Havbunnsinngrep som grøfting til rørledninger, rydding for rørledning og legging av kabel
- Operasjoner rundt nedsetting av undervannsinstallasjoner



- Inspeksjon, Reparasjon og Vedlikeholds operasjoner (IMR)
- ”Decommissioning” av utrangert installasjoner

1.3.2. Kort om ROV Operasjoner

Man kan dele ROV inn i flere undergrupper:

Observasjons ROV: Er i hovedsak kun utstyrt med kamera og lyskaster. Den er ofte designet med tanke på smidighet og hastighet, og er derav oftest hovedsakelig nytt til inspeksjonsoperasjoner. Denne typen blir brukt i operasjoner der personellet på overflaten trenger en visuell oversikt over hvordan tilstanden er under vann. Eksempelvis kan dette være der man trenger å se situasjoner fra andre vinkler en den som man ser gjennom Arbeids-ROV'en, altså som en støttefunksjon til en arbeids ROV. Eventuelt nyttes den mye på egenhånd som rent inspeksjonsverktøy av strukturer og rørledninger.



Figur 1: Observasjons ROV (1)

Arbeids ROV: Har høyere manipulator kraft og er generelt kraftigere utrustet enn en observasjons ROV. Denne typen har gjennomsnittlig kraftigere thrustere for økt stabilitet og lasteevne, samtidig som den er utstyrt for utføring av forskjellige arbeidsoperasjoner under vann. Noen arbeids ROV'er er spesialbygd for bestemte arbeidsoppgaver, f.eks; ”Jet trenching” og ROV med mekanisk plog. Arbeids- ROV brukes ellers eksempelvis til ventilhåndtering på ventiltre, tilkobling av umbilical på angitte tilkoblingspunkt, eller kutting av gjenstander under vann for å nevne noen.



Figur 2: Arbeids- ROV (2)



Figur 3 :Jet Trencher (3)



Figur 4: ROV med plog (4)

1.3.3. ROV verktøy i Deep Oceans undervannsooperasjoner

Typene ROV verktøy som brukes varierer i størrelse og type etter hvilke operasjoner som skal gjennomføres. De operasjonene som man ofte bruker ROV verktøy i er:

Havbunnsinngrep:

I operasjoner der man holder på med et havbunnsinngrep vil mekanisk plog /skjær være et ofte nytt ROV -verktøy for å lage grøfter ("trenching"). Foruten de rent mekaniske plogene nyttes også "jet-trenching". Disse verktøyene brukes for å kunne grave ned gass- og oljerørledninger slik at havbunnsmaterie skaper en isolerende beskyttelse mot termisk konveksjon samtidig som rørledningen beskyttes mot synkende fremmed legemer og overtråling.

Sjøbunnkartlegging:

Noen andre ROV verktøy er av en annen størrelse og karakter, som målingsutstyr for havbunnkartlegging og "survey". Her brukes det sonar som ROV -verktøy og lasermåling i distansemålinger under vann.

**HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND****Nedsetting av undervannsinstallasjoner:**

I noen operasjoner gjennomføres disse med en Observasjons-ROV eller en Arbeids-ROV (WROV). Disse brukes til overvåking og assistering ved store installasjonsoperasjoner der ROV`en eksempelvis nyttes til posisjonering av utstyr, montering/demontering av guideposter/guidelines og oppkobling av rørledninger mot installasjoner under vann. ROV`en som verktøy er altså en essensiell brikke i slike operasjoner.

”Decommissioning”

I operasjoner som går på fjerning av installasjoner nyttes ofte diverse kutteverktøy. Det finnes forskjellige typer kuttverktøy til ROV som blant annet giljotin, ”grinder” (vinkelsliper), diamantkutter eller høytrykksvannkutting.

IMR:

I denne delen av Deep Ocean sitt arbeidsområde er bruken av forskjellige ROV-verktøy stor. Det brukes mye forskjellige verktøy i disse operasjonene alt etter de spesifikke jobbene som utføres og det produseres gjerne verktøy løpende for slike operasjoner/jobber. Disse jobbene kan eksempelvis bestå av:

- Deteksjon av gasslekkasje
- Montering av ventiltre
- Skifting av undervannsmoduler
- Fjerning av overtrålbar struktur
- Nedlegging av seismikkabel
- Skifting av risere

Dette viser det store spennet i type operasjoner som en typisk IMR- avdeling håndterer og en ser derav at det nødvendigvis vil måtte nyttes mye forskjellig ROV- verktøy her.

1.4. Forkortelser og betydninger

FS = Friksjonssveising

HPU = Hydraulic Power Unit

ROV = Remotely Operated Vehicle

VDU = Video Display Unit

HAZ = Heat Affected Zone

IMR = Inspection, Maintenance and Repair

1.5. Metoder for å løse oppgaven

Innhenting av informasjon/data til oppgaven fra diverse faglitteratur, laboratoriumsforøk, internett. Kalkulasjoner ved hjelp av dataverktøy og manuelle beregninger. Det fokuseres på teorien bak friksjonssveising og de parameterne som spiller inn i en slik sveiseopprosess. For å kunne forstå hvilke parametre som spiller inn i sveising i et undervannsmiljø, må man sette seg



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

inn i parametrenes innvirkning i prosessen på land. Dette gir også grunnlaget for hvilke parametere som bør testes bedre ut i et laboratorium eller en testarena. Oppgaven vil også se på tidligere studier på dette område for å kunne gi et bedre bilde av utfordringene man står ovenfor i en slik sveiseprosess, i tillegg til å se på hvilke muligheter som vil åpne seg ved å mestre en slik sveiseprosess.

1.6. Avgrensninger

Laboratorium

Både deltakerne og Deep Ocean var enige om at et operativt laboratoriumsforøk var interessant og at det kunne være med på å løfte oppgaven. De første to månedene hadde deltakerne og Deep Ocean tro på at det skulle være mulig å arrangere et slikt forsøk. Utstyret måtte innhentes fra en tredjepart men ble dessverre ikke disponibelt.

Forsøket ble da ikke gjennomført, men det foreligger et forslag på hva deltakerne mener er et aktuelt og relevant testprogram.

Størrelser

Det var ønskelig og kunne dokumentere/redegjøre for sveiste akslinger/bolter i størrelsesorden Ø10-25mm. Pga annenhånds informasjon, dagens utstyr og tidsbruk valgte vi å ta for oss bolteemner av dimensjon M10.

2. Eksisterende metoder og utstyr for friksjonssveising

Her gis en kort innføring om hvilke ulike metoder og verktøy som finnes i dag innen friksjonssveising, for siden å se konkret på friksjonssveising av bolter. Aktuelle metoder og problemstillinger relevante for bruk av denne type utstyr under vann vil bli belyst.

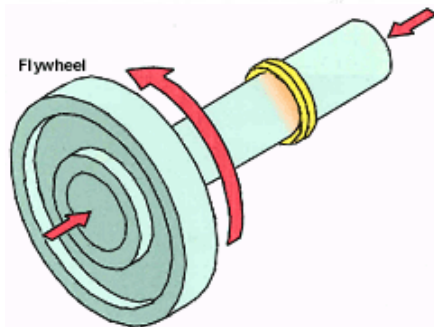
2.1. Beskrivelse av eksisterende metoder

Friksjonssveising[FS] er i følge Store Norske Leksikon (5) en forholdsvis ny sveisemetode som ble utviklet mot slutten av 1950 tallet i Russland. FS deles hovedsakelig i to undergrupper; roterende friksjonssveising og lineærfriksjonssveising (også definert som vibrasjons FS). Her i dette underkapittelet defineres de mest kjente sveisemetodene som tilhører de nevnte hovedgrupperingene.

2.1.1. Roterende friksjonssveising

"Inert" Friksjonssveising

Metoden foregår ved at et emne roteres opp i en fastsatt hastighet, fastspent i et svinghjul, mens motparten holdes låst fast i en form for innspenning. Svinghjulet roteres opp i en forhåndsbestemt hastighet og kobles deretter fra drivmotoren når emnene presses sammen og plastifiseres sammen ved den nødvendige presskraften.

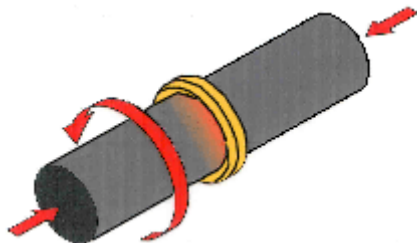
**HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND**

Figur 5 - Prinsippskisse "Inert" FS (6)

Hastigheten på svinghjulet avhenger av den nødvendige lagrede energien som kreves i svinghjulet for å oppnå korrekt friksjonsvarme i sveiseoperasjonen og derved nødvendig varme/sveisetid. (6)

Direkte drevet FS

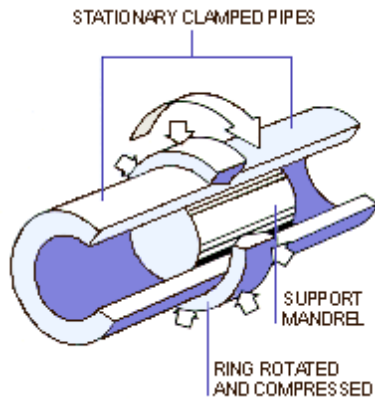
Foregår ved at et emne roteres med en konstant hastighet av en drivmotor, mens motparten/emnet holdes fastspent. Det påføres en aksial kraft slik at flatene møtes og det utvikles varme. Kraften og rotasjon opprettholdes til en oppnår det plastiske området og holdes til en når en angitt mengde av deformert material avsett, eller angitt tid. Når dette punkt oppnås frakobles drivmotor og rotasjonen bremses da som følge av friksjonskraften mellom emnene. Deretter økes presskraften for å fullføre den plastiske sammenføyningen.



Figur 6 - Prinsippskisse Direkte drevet FS (6)

Radial FS

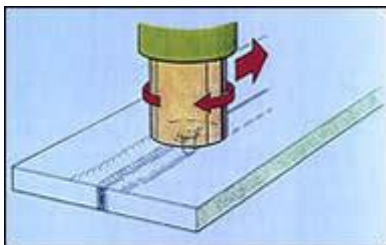
Metoden nyttes eksempelvis ved sammenføyning av rør. Det settes inn en ring med litt større diameter enn rørene og som er profilert som en v-fuge innvendig mellom/over rørene. Deretter legger en rørene fastspent og sammenpresset, slik at en har en v-fuge i skjøten. Ringen roteres rundt fugen mellom rørene, friksjon oppstår og ringen vales så inn i fugen ved hjelp av en komprimerende presskraft på ringen. (6)

**HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND**

Figur 7 - Prinsippskisse Radial FS (6)

”Friction stir welding” (FSW)

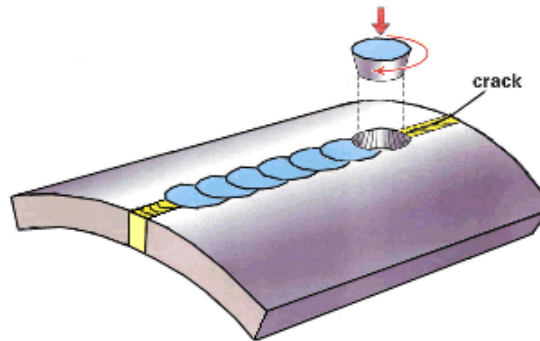
Denne metoden foregår ved at en roterende verktøytapp føres langs fugene mellom de fastspente platene og det utvikles også her friksjonsvarme som fører til at platene plastifiseres i fugen og sammenføyes. Verktøytappen fører da det plastifiserte materiale fra forsiden av verktøytappen og presser det sammen i fugen bak tappen. Metoden benyttes mye i aluminiumsindustrien til sammenføring av plater.



Figur 8 - Prinsippskisse FSW (6)

”Friction hydro pillar processing” (FHPP)

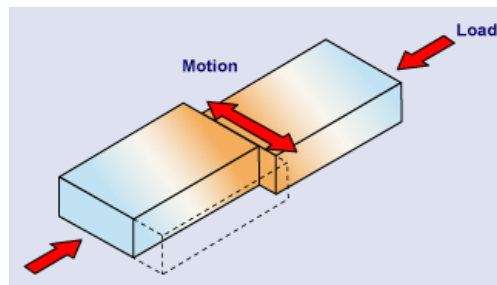
Dette er en metode som ligner på den som av The Welding Institute (6) benevnes som ”Friction taper stitch welding” (FTSW) eller ”Friction taper plug welding” (FTPW). Metoden baseres på at det forborres en rekke hull eksempelvis aksielt på røret eventuelt rundt omkretsen av røret. I disse hullene roteres da koniske emner/tapper som presses ned i hullene og da plastifiseres ut over de forborrede hullene og danner da fortløpende en tilnærmet kontinuerlig sveisesøm. Metoden ble opprinnelig utviklet for å fylle i feilborrede hull og for å reparere sprekker og feil i stålplater og rør, men kan og nyttes til å sammenføye og reparere eksempelvis tykkere stålplater.



Figur 9 - Prinsippskisse FTSW/FTPW (6)

2.1.2. Lineær friksjonsveising

”LFW” (”linear friction welding”) er en metode for sammenføring av deler i ulike geometriske former. I stedet for å skape friksjonsvarmen ved rotasjon, dannes varmen ved å bevege materialflatene hurtig parallelt mot hverandre. Dvs. at en da ikke er avhengig av å ha sirkulære emner til sammenføring. Denne metoden benyttes til eksempelvis sammenføring av vifteblader og turbinblader til rotor. Metoden er mye brukt i flyindustrien.



Figur 10 - Prinsippskisse Lineær FS (6)

2.2. Beskrivelse av eksisterende utstyr til bruk under vann

Utstyr som brukes i undervannsmiljøet i dag er i hovedsak basert på prinsippet med roterende direkte drevet friksjonsveising. Av leverandører/firmaer som opererer FS verktøy undervann har Proserv (7) noen egenutviklede pneumatisk drevne FS verktøy til bruk i luft og ved grunt vann, samt hydraulisk FS verktøy som opprinnelig var utviklet av Hydro Marine Systems Ltd, HMS 3000, til bruk i dypere vann. I følge Proserv (7) kan deres FS systemer sveise dimensjoner fra 3/16” (ca.5mm) til 1½” (38mm) bolteemner og røremner med diameter opp til 2½” (63.5mm).

2.2.1. Pneumatisk drevet R1004 portabelt FS verktøy

Proserv (7) har noen patenter av pneumatisk FS verktøy til bruk ved sveising av bolter til struktur i gassfylte atmosfærer samt ved grunnere vann. Dette utstyret nyttes eksempelvis

HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

typisk til tilkopling av anoder på skrog og fartøy, samt generelle struktur tilknytninger like under havoverflaten og generelt ved grunnere vann.



Figur 11 - R1004 verktøyet brukt med magnetklemme til reoperasjon i "splash-sonen" på en FPSO (7)

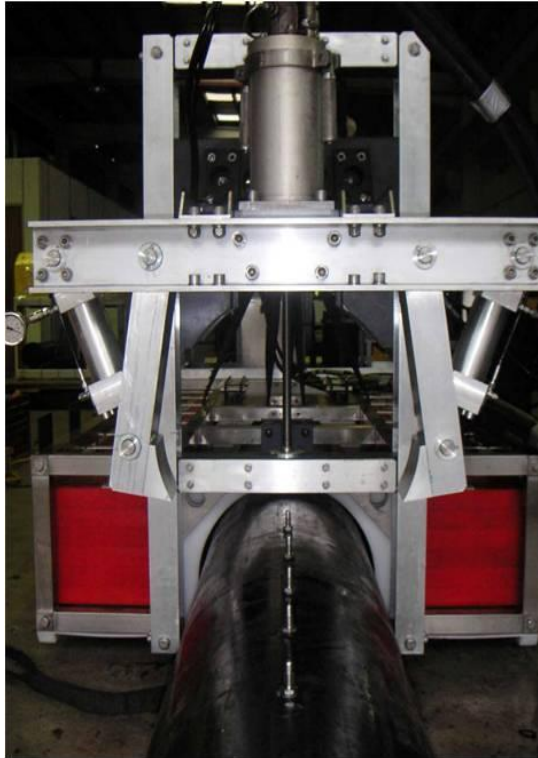
2.2.2. Hydraulisk drevet HMS 3000 portabelt FS verktøy

I 1991 designet og bygde Hydro Marine Systems den første hydraulisk drevne, full instrumenterte og kontrollerte, portable friksjonssveisemaskinen beregnet på sveising av bolter under vann (8). Utstyret er egnet for å sveise bolter på en dimensjon opp til Ø25mm og ved havdyp ned mot 1000meter. Kontroll systemet, Video display unit (VDU), gir kontroll og overvåkning av sveiseparametrene under prosessen samt sikrer repeterbarhet av operasjonen. Sveiseparametrene kan fjernstyres av operatøren under sveiseoperasjonen dersom endringer i parametrene måtte være nødvendig. Parametre under operasjonen lagres i kontrollsystemet for å sikre dokumentasjon av sveisen (8)



Figur 12 - HMS3000, motor/sylinder (7)

Ved endt sveiseoperasjon kan operatøren velge å utføre test av det sveiste produktet med samme maskinen. Bolten blir da utsatt for en strekk test, normalt på 65% av flytegrensen, og resultatet av testen blir lagret i VDU'en. Hver sveis blir loggført med et spesifikt nummer i VDU'en for sporbarhet ifm. sertifisering for å tilfredsstille eventuelle klassifikasjonskrav (8).

**HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND**

Figur 14 - HMS3000 montert i spesialbygd "skid" med klemmeanordning for sveising av bolter for anodetilkopling på rørledning (7)



Figur 13 - ROV med HMS3000 skid (7)

Ved operasjon av verktøyet ved dykkerbaserte systemer vil utstyret normalt opereres gjennom en 100 meter lang umbilical som supplerer hydraulikk fra et hydraulikkaggregat (HPU) stasjonert om bord i dykkerfartøy samt en overflate kontroll umbilical som nyttes til kommunikasjon og styring av verktøyet. Dykkerbaserte operasjoner på dypere vann vil kunne kreve undervanns HPU og en overflate kontrollkabel/umbilical (8).

Når utstyret skal brukes av ROV vil utstyret bli operert fra ROV'ens integrerte HPU og med kontroll av utstyret styrt gjennom ROV'ens umbilical.

FS prosessen krever ganske store holdekrefter da selve prosessen må utføres med en forholdsvis stor presskraft. Dette fører til et behov for en god klemmeanordning for å motstå disse reaksjonskreftene og for å holde sveisemaskinen stabil under prosessen. Ved dykkerbaserte operasjoner vil dykkeren måtte plassere klemmeanordningen og montere sveisemaskinen først før operatør av selve sveiseprosessen om bord overtar operasjonen. Dykkere vil da også måtte demontere sveisemaskinen igjen når en må "lade" om maskinen med en ny bolt og eventuelt skum eller annen isolerende beskyttelse (for å forhindre bråkjøling av sveiseprosessen) før maskinen re-lokaliseres til neste sveiseoperasjon. Til bruk av utstyret ved ROV vil disse operasjonene normalt være integrert i en egen ramme/"skid" som manøvreres og suppleres fra ROV (8).

**HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND**

Før operasjon vil utstyret normalt måtte gjennomgå en del tester på land for og optimalisere alle parametre for den aktuelle sveisejobben.

3. Friksjonssveising prinsippet

I kapittelet nedenfor vil det beskrives oppbyggingen av metaller helt ned på mikronivå og gi leseren en grunnforståelse i aktuell materiallære relevant for friksjonssveising under vann. Dokumentet vil gjøre rede for hvilke fordeler og ulemper konstruksjonsstål representer i denne sammenhengen. Videre vil kapittelet ta for seg friksjonssveising mellom to metaller og gi en grunnforståelse om teorien bak friksjonssveising. Blant annet vil det belyses hvorfor det er viktig at man kjenner en del parametre for det/de metall(er) som skal sammenføres. Ved oppvarming og nedkjøling av metaller vil som kjent metallens grunnstruktur bli endret. Endringen av metallens struktur avhenger av temperaturen som metallet ble oppvarmet til og hvor fort det ble nedkjølt. Alt dette påvirker styrken og seigheten til materialet og gir følger i forhold til bruksområdet for sammenføyningen. I undervannsmiljøer vil temperaturer i både vann og material påvirke plastifiseringsprosessen og de teoretiske parameterne blir satt på prøve.

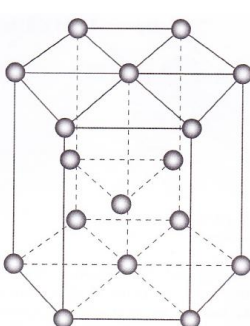
3.1. Aktuell materialteori

Delkapitlene under gir en kort introduksjon til oppbygging av metaller og deres gitterstrukturer samt vinkler videre dette inn mot deformasjon av metaller og metallenes karakteristiske egenskaper som er relevante innen teorien bak plastisk deformasjon og friksjonssveising.

3.1.1. Oppbyggingen av metaller

Ifølge Grøndalen (9) skiller metaller seg fra andre stoffer ved at de har god elektrisk ledningsevne og god varmeledningsevne. Metallbindingene består av atomer som knyttes sammen med bindingselektronene som er avgitt til en felles ”elektronsky” mellom atomene. Egentlig er de ikke atomer lengre, men ioner, siden de har avgitt elektroner og er blitt positivt ladet. Bindingskrefter oppstår da mellom ionene og den negative elektronskyen. Bindingen er ikke retningsbestemt og det gjør at metaller har et fast smeltepunkt og at de lar seg forme uten at materialet går i stykker. Styrken til metallbindingene varierer mye fra metall til metall. Eksempelvis er ytterpunktene kvikksølv med smeltepunkt på -39°C og wolfram med smeltepunkt på 3400°C .

3.1.2. Metallenes gitterstruktur.



Metaller betegnes som et krystallinsk stoff hvor atomene er pent stablet i regelmessige lag. De ligger i forskjellig definerte mønstre eller strukturer som kalles gitterstrukturen til metallet. Det finnes mange slike gitterstrukturer, men de fire vanligste strukturene er:

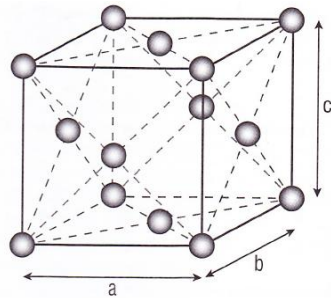
Figur 15-Strukturcellen til heksagonal gitterstruktur (9)



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

Heksagonal gitterstruktur:

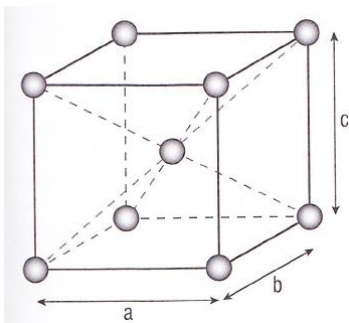
Dette er en tettpakket struktur. Eksempelvis har metallene sink, kadmium, magnesium, kobolt og titan en slik gitterstruktur.



Figur 16- Strukturcellen til kubisk flatesentrert struktur (9)

Kubisk flatesentrert gitterstruktur (FCC – "face-centered cube") :

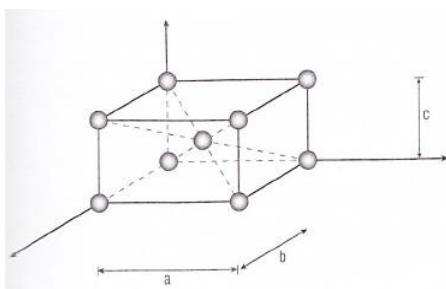
Dette er også en tettpakket struktur. Typiske metaller med denne strukturen er aluminium, kobber, gull, sølv, nikkel, bly og jern (Fe) mellom 910-1390°C (austenitt).



Figur 17- Strukturcellen til kubisk romsentrert struktur (9)

Kubisk romsentrert gitterstruktur (BCC – "body-centered cube") :

Som en ser av figuren er denne strukturen ikke fullt så tettpakket. De mest kjente metallene med denne strukturen er krom, molybden, wolfram og jern (Fe) under 910°C og over 1390°C.



Figur 18- Strukturcellen til tetragonal romsentrert struktur (9)

Tetragonal romsentrert gitterstruktur:

Strukturen ligner mye på kubisk romsentrert, men lengden av sidekanten i grunnflaten er forskjellig fra høyden i strukturcellen. Metallene tinn og blant annet herdet stål (martensitt) har slik struktur.

Deformasjon av metaller

Rent elementært fra materiallæren er det en kjent sak at metaller kan bli deformert når de utsettes for en ytre belastning. Det skiller da mellom elastisk deformasjon som kjennetegnes

HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

ved en midlertidig deformasjon der metallet etter tøyning vil returnere til sin opprinnelige tilstand. Den andre varianten deformasjon er plastisk deformasjon, grunnprinsippet i friksjonssveisingen, som er den varige deformasjonen der metallet etter tøyningen eller deformasjonen blir værende stabil i den nye tilstanden. (9)

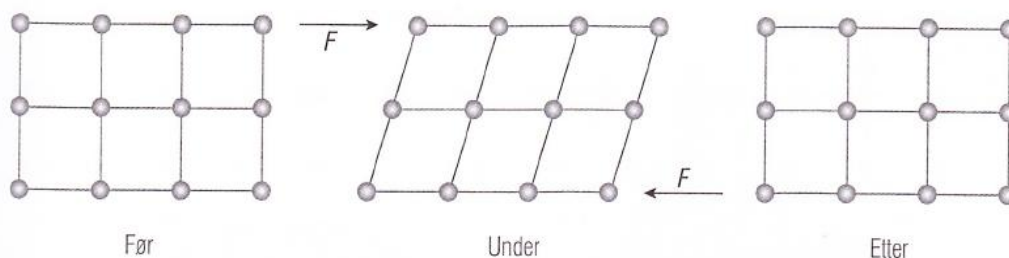
3.1.2.1. Elastisk deformasjon

Elastisk deformasjon defineres ofte som en midlertidig deformasjon. Når en fjerner de ytre kreftene som forårsaket deformasjonen, går metallet tilbake til sin opprinnelige form. For de fleste metaller er forholdet mellom relativ forlengelse og påført strekk gitt av det lineære forholdet:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (1)$$

Dette uttrykket er kjent som Hookes lov. Her står σ for spenning eller strekkspenningen påført. E er en konstant kalt elastisitetsmodulen (E-modulen), også kalt Youngs modulus. Dette er en materialkonstant som sier noe om materialets motstand mot deformasjon eller formending, altså grovt sagt en definisjon av materialets stivhet. Til sist er den relative forlengelsen, ε , eller tøyningen. (9) (10)

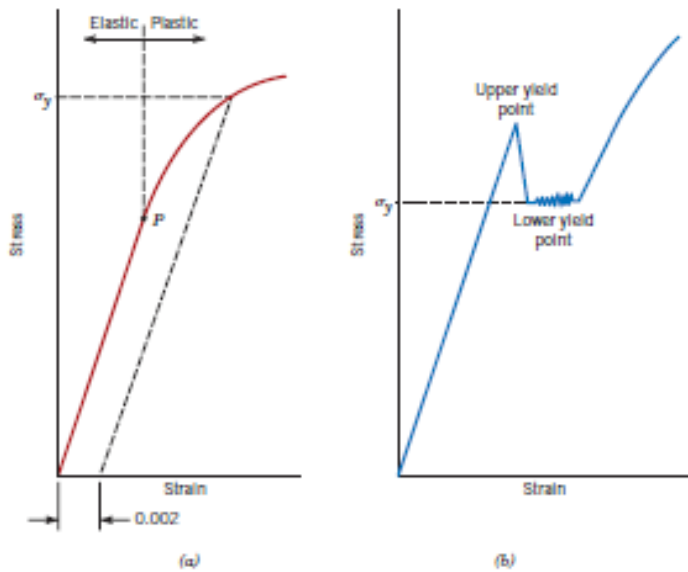
På atomnivå vil elastiske påkjenninger påvirke gitterstrukturen. Atomets posisjon i gitteret er ikke helt fastlåst, men heller litt fleksibel. Når gitteret blir påkjent krefter vil atomene kunne flytte seg litt i forhold til hverandre slik at gitteret blir skjevt. Når kreftene/påkjenningen fjernes igjen vil gitteret "fjære" tilbake til normal stilling.



Figur 19 - Elastisk deformasjon av atomgitter (9)

3.1.2.2. Plastisk deformasjon

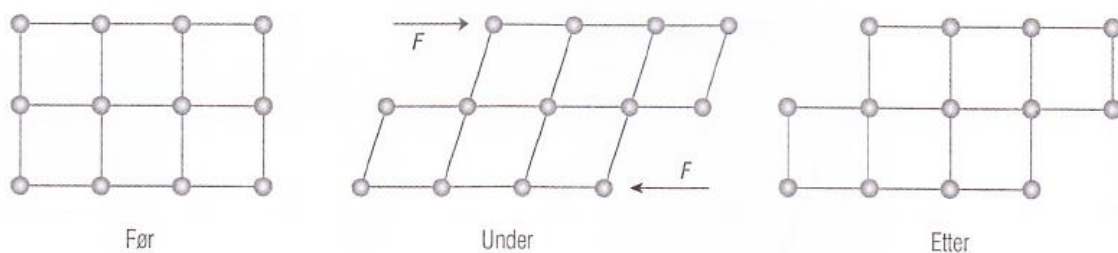
For de fleste metaller vedvarer elastisk deformasjon kun opptil en relativ forlengning på omtrent 0,2%.



Figur 20 - Typisk spenning-relativ forlengning sammenheng i metaller (10)

Når materialet blir deformert videre utover denne grensen er ikke lenger forholdet mellom spenning og forlengning proporsjonalt. Altså gjelder ikke Hookes lov lenger og permanent deformasjon oppstår.

Når materialet nå passerer dette skillet, som oftest defineres som flytegrensen, og entrer det plastiske området har spenningene i materialet blitt så store at bindingskreftene mellom atomene i to plan brytes, og det ene planet forskyver seg i forhold til det andre. Det oppstår altså såkalt atomplanglidning. Ved bortfall av de ytre påkjenningene, altså ingen videre strekking (i FS vil dette være trykking/komprimering) av metallet, vil metallet nå forbli i denne nye stillingen. Dette skjer ved at det blir opprettet nye bindinger mellom de nye naboatomene via den tidligere nevnte ”elektronskyen” mellom atomene.



Figur 21- Plastisk deformasjon av atomgitter (9)

Plastisk deformasjon tilsvarende bevegelsen av et stort antall dislokasjoner. Dislokasjoner er egentlig feil i gitterstrukturene, et ekstra ufullstendig atomplan, et atomplan som slutter midt inne i strukturen. Denne feiltypen i materialer er også mye av forklaringen til den store forskjellen mellom teoretisk og praktisk materialstyrke.

Dislokasjoner forflytter seg ikke like lett i alle atomplan av gitterstrukturene. Glideplan (eller slipp) er plane flater mellom ionene i et atomgitter. Langs disse planene kan det inntre forskyvninger uten at metallet sprekker opp. Det er allikevel ikke slik at alle plan som ligger i et



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

gitter er glideplan. Slippene som oppstår i et gitter skjer langs de planene der motstanden mot forskyvning er minst. Det skal for eksempel mye mindre kraft til for å få glidning mellom to glideplan når det eksisterer en dislokasjon i glideplanet enn det som trengs i et "feilfritt" glideplan. (10)

Grøndalen (9) hevder at atomplanglidningen avhenger av krystallstrukturen til metallet. For en spesifikk gitterstruktur er glideplanet det planet som har de tettest pakkede atomene. Glideplanet ligger altså i den retningen som har den største tettheten av atomer, altså størst lineær tetthet. Eksempelvis har kubisk flatesentrert struktur (FCC) og kubisk romsentrert struktur (BCC) et relativt høyt antall mulige glideplan. Disse metallene er normalt meget duktile (formbare) fordi plastisk deformasjon er normalt mulig i flere glideretninger.

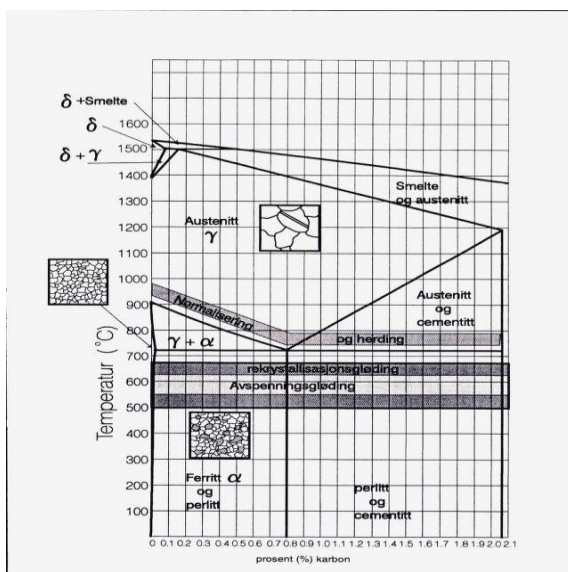
På den andre siden har en da heksagonal gitterstruktur som har få mulige glideplan. Metaller av denne strukturen kjennetegnes ofte ved at de er forholdsvis sprø og lite duktile. Eksempler på metaller av denne strukturen er sink, kadmium, magnesium, kobolt og titan som nevnt tidligere.

Tettpakkede strukturer som f.eks kubisk flatesentrert struktur og romsentrert struktur har altså lett for å deformeres plastisk. Dette betyr altså at metaller av denne gitterstrukturen hvor en har mange krystallplan med tettpakkede lag har svært god duktilitet. Dette er også greit å forestille seg da eksempler på metaller med denne strukturen, som nevnt tidligere, er blant annet aluminium, kobber og bly. Disse metallene blir generelt sett regnet som "bløte" og formbare metaller.

3.2. Hva skjer rent grunnleggende ved friksjonssveising

Friksjonssveising (FS) er en pressveisemetode som kan nyttes for å sammenføre flere

forskjellige metaller. FS oppnår fullstendig metallisk kontakt mellom emnene samtidig som metoden forringer metallenes opprinnelige egenskaper i begrenset form, i motsetning til f.eks tradisjonell lysbuesveising. Metoden krever ingen tilsatsmateriale eller tilsetningsstoffer og det er heller ingen utslipp fra prosessen.



Figur 22 - Jern-karbon diagram (12)

Som nevnt er FS en pressveisemetode og er altså en form for plastisk formgivning. Plastisk formendring skjer når materialets spenninger overskrider materialets flytegrense. Når metallet er kommet over i det plastiske området har spenningen i materialets gitterstruktur blitt så

stor at bindingskreftene mellom atomene i to plan brytes. Dette medfører da at det ene planet

**HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND**

forskyver seg i forhold til det andre og det blir opprettet nye bindinger mellom de nye naboatomene slik at materialet allikevel forblir like helt. (9)

Materialets evne til plastisk bearbeidbarhet ved en spesifikk temperatur avhenger av formendringsevnen eller formbarheten (duktilitet). Duktiliteten bestemmes ved materialets bruddforlengelse og sammentrekning målt ved strekkprøving. En annen viktig faktor ved materialets evne til plastisk bearbeidbarhet er formendringssmotstanden.

Formendringssmotstanden kan ikke uttrykkes med et enkelt tall, men er resultatet av en samlet vurdering av materialets flytekurve ved formingstemperaturen. Flytekurven tas opp ved strekkforsøk og uttrykker da spenning som funksjon av tøyning (11). Høyere formendringssmotstand krever høyere krefter og mer energi for å bearbeide materialet.

Både duktiliteten og formendringssmotstanden for materialet avhenger av temperaturen. Ved økende temperatur vil duktiliteten øke mens formendringssmotstanden vil minke. Det avgjørende temperaturområdet for hvor duktiliteten øker er ved rekrystalliseringsgrensen (11)

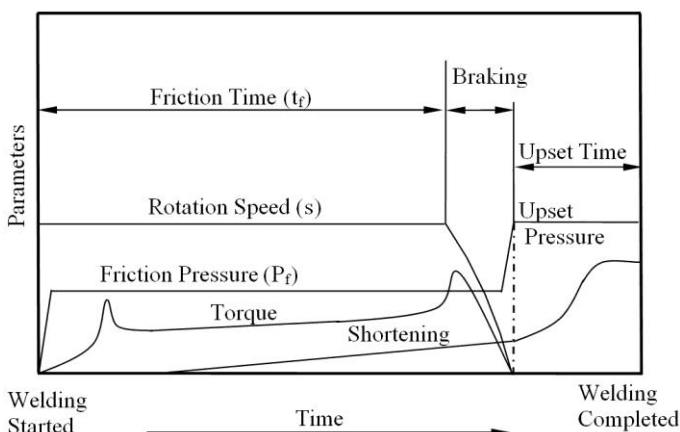
Rent jern har en rekrystalliseringsgrense på 400°C , mens ren aluminium har ca. 100°C (9) For bløtt stål ligger denne grensen i området mellom $500\text{-}800^{\circ}\text{C}$.

Vanligvis vil plastisk formgiving foregå ved vesentlig høyere temperatur enn rekrystalliseringsgrensen fordi formendringssmotstanden minker ved økende temperatur. I dette tilfellet med FS under vann vil en i hovedsak prøve å unngå å øke temperaturen for mye da dette øker faren for martensitt dannelse i forbindelsen samtidig som det vil kunne gi en stor varmpåvirket sone rundt sammenføyningen.

Den varmpåvirkede sonen, oftest i sveisesammenheng omtalt som "Heat Affected Zone" (HAZ), defineres av Gudbrandsen (12) som den delen av grunnmaterialet utenfor selve sveisesonen som er blitt oppvarmet til en så høy temperatur at egenskapene eller strukturen har endret seg.

Nettopp av disse grunnene blir det da tydelig at temperaturen i denne sveisemetoden bør kunne gi en bedre sveiseforbindelse kontra eksempelvis en ordinær smeltesveisemetode.

3.2.1. Praktisk utredning om prinsippet bak friksjonssveising



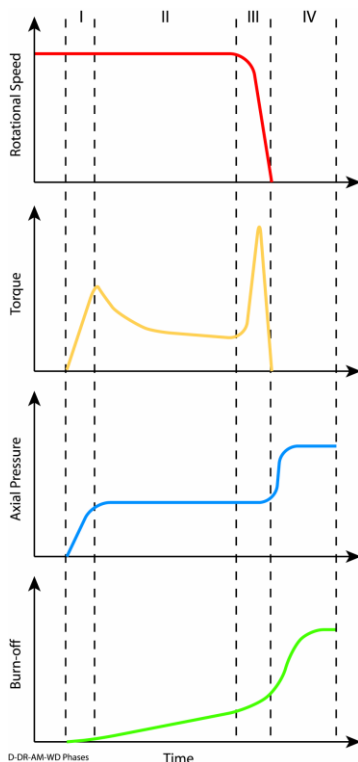
Figur 23: Parameterutviklingen for friksjonssveising (14)

Hovedsakelig går friksjonssveisingen ut på at en sammenføyer to emner tilnærmet lik en gjør ved forming/bearbeiding av stål ved smiing. Materialene blir deformert eller "stuket" i sammen etter en viss oppvarming/gløding og resultatet blir en god metallisk forbindelse. En behøver en kraft stor nok for å overvinne flytegrensen og derved komme over i plastisk område av grunnmaterialet før metallene vil "gli" over i hve

**HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND**

randre og danne en sammenføring (atomplanglidning).

Sveiseoperasjonen starter normalt ved rotasjon av arbeidsemne og ved å påføre dette en moderat presskraft mot motparten slik at det oppstår friksjon mellom den roterende delen og den stillestående. Det avvikles da et visst arbeid siden det roterende emnet "bremses" av friksjonskraften fra overflaten mellom de to emnene. Denne energien skaper friksjonsvarmen og varmer altså opp emnene en viss grad gitt av; rotasjonen, presskraften på emnet og friksjonen fra belegget mellom emnene. Her vil naturligvis sjøvannet (dersom dette foregår direkte i sjøvann) begrense varmeutviklingen noe, slik at en nødvendigvis vil behøve mer energi for å skape samme varmen i vannet som en ville gjort i fri luft. Kort fortalt vil en ha litt lengre sveisetid i sjøvann kontra luft. Dette på bakgrunn av at vann har gjennomsnittlig 4 ganger større varmeledningsevne enn luft. (Spesifikk varmekapasitet til vann ved 20°C er 4182J/KgK, mens til luft er den ved konstant trykk og 20°C 1005J/kgK (13)).



Figur 24: Utviklingen av hver enkelt parameter i de forskjellige fasene.

I:Gnidningsfase, II:Oppvarmingsfase, III: Bremsfase, IV: Stukefase (14)

Denne første kontakten mellom emnene og friksjonsvarmen som utvikles her vil også være med på å "slipe" til flatene og fjerne eventuelt oksidbelegg og andre belegg/overflatebehandling som måtte finnes på materialenes overflate. Når dette eventuelle belegget er slipt bort og det oppstår direkte metallisk kontakt vil temperaturen i anleggsflatene etter hvert øke til en oppnår rekrystalliseringsområdet (slik at det enklest skjer atomplanglidning). Heretter påføres det roterende emnet ytterligere kraft for å oppnå den "smi-kraften" som er nødvendig for å plastifisere metallene. Etter at nok material har blitt plastifisert, som defineres ved enten aksiell avkortning av emne eller ved å måle mengden avsett rundt sveisefuge, vil rotasjon stoppes og presskraften ("stukekraften") økes ytterligere. Stukekraften opprettholdes en viss tid for å fullføre prosessen og sammenføringen av metallene.

A.Meyer (14)forklarer i sitt studie om fasene i FS prosessen. Der tar han for seg fire faser mens andre studier gjort av andre (15) fokuserer kun på to eller tre faser. Det fokuseres her på de fire fasene som er gnidning, oppvarming, bremse og stukefase. Meyer forklarer først om "rubbing phase" hvor første kontakt mellom emnene oppstår. Denne første kontakten er viktig for å slipe til overflatene og dermed fjerne eventuelle overflatebelegg og generelle ujevnheter. Herved slipes også flatene plane slik at det er metallisk kontakt over hele tverrsnittet til emnene. Dette er et resultat av lokalsmelting og deformasjoner i aksial retning i den

ytre delen av tverrsnittet til sveisejonen. I denne fasen er det et karakteristisk trekk at på plane flater vil gnidningen forårsake at varmeutviklingen på de glatte flatene beveger seg fra ytterst av tverrsnittet til senter av tverrsnittet. Denne skrubbingen gjør at den lokale smeltingen trekker seg nærmere mot senter, og den ytterstedelen av emne vil nå synke i temperatur. Etter



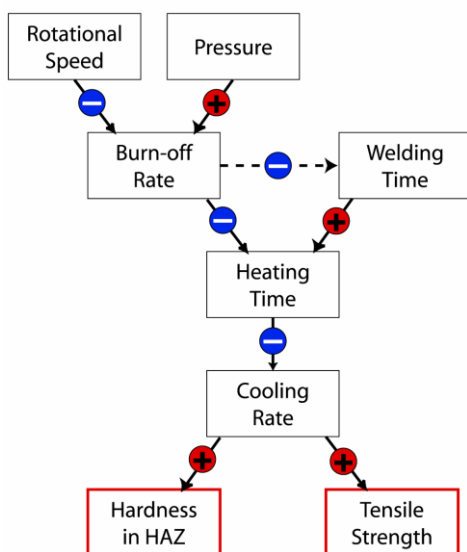
HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

hvert som friksjonsmomentet kommer til et maksimum i forhold til maksimalt inngrep mellom kontaktflatene (gitt av størst radius/kontaktflate og derved størst vridningsmoment) avsluttes gnidningsfasen. Denne toppingen av momentet kommer av fjerning av slagglaget dannet i gnidningsfasen. I oppvarmingsfasen har emnenes kontaktflate blitt større og forskyvningen av materialet (ofte kalt *avsett*) fra slagglaget har gått over i å forskyve det plastifiserte materiale. Større areal av kontaktflate gir økning av temperatur, med høy temperatur ytterst og lavere temperatur lengre inn mot senter av emnet. Ettersom kontaktflaten blir fullstendig vil temperaturen over hele tverrsnittet utlignes, og en vil ved påføring av trykkraft etter hvert oppnå det plastiske området. Når metallet er plastisk vil momentet i dreieretning bli lavere som følge av at høyere temperatur gir bedre materialformbarhet. Ved forbedring av formbarheten til metallet som følge av høy temperatur, vil kraften i aksialretning gå ned ettersom motstanden blir lavere. Dette leder til starten på sammenføyning av materialene, hvor avsettet blir presset ut av sveisesonen. Overgangen til bremsefasen fra oppvarmingsfasen inntreer når ønsket lengde har blitt plastifisert og/eller sveisetiden er forbi. Når bremsefasen trer inn avtar rotasjonen mens den samme aksialkraft (eller påtrykket) oppretholdes. Dette gir en økning i dreiemomentet som igjen gir en økende bremseeffekt og økning i avsett. Som illustrert i figur 24 ser man at resultatet av utkoblingen av rotasjonen av emnet gir en rask økning av dreiemoment og en hyppig bremsing av emnet. Når emnet har sluttet å rotere slutter bremsefasen og går over i stukefasen. Her er det kun parameteren aksialkraft som virker på emnet og stukingen av emnet gjør at forskyvning av materialet øker betraktelig slik illustrert i figur 23 og 24.

3.3. Hovedparametre for friksjonssveising

I friksjonssveisingprosessen er det viktig å kjenne til parametrene sin innvirkning på

Parameter Influence in Friction Welding



Figur 25: Parameternes innvirkning ved Friksjonssveising (14)

utførelsen og resultatet. De to hovedparametrene som man rår over er rotasjonshastighet og aksialkraften/trykk fra emne over til motparten. Rotasjonshastigheten er en parameter som påvirker tempo på avsettet ved at økende rotasjonshastighet reduserer avsettets tempo. I hver materialkombinasjon vil det eksistere et ideelt forhold mellom rotasjonshastighet og aksialkraft for optimal sammenføyning. Parameteren aksialkraft/trykk innvirker på mengden avsett og en økende mengde avsett påvirker to viktige parametre som sveisetid og oppvarmingstid slik vist i figur 25. Oppvarmingstiden er tiden som brukes for å varme opp materialet. Bortbrenningen styres av de to initierende parametrene (rotasjonshastighet og aksialkraft/trykk) og gir videre utslag i både sveisetiden og oppvarmingstiden. Dvs. riktig bortbrenning er med på å bestemme sveiseresultat og styrken til denne. Hvis sveisetiden blir for lang vil dette også påvirke oppvarmingstiden. Ved at sveisen blir for varm kan

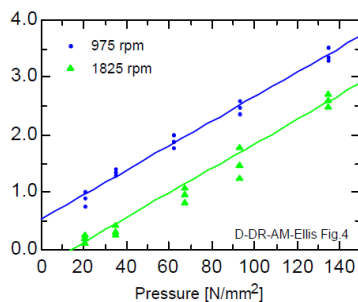


HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

materialet overstige smeltepunktet, noe som kan medføre at torsjonskreftene vil kunne deformere emnet fra sveisesonen i bremsefasen og skape et dårlig sveiseresultat. En annen faktor som påvirkes av oppvarmingstiden er kjøletiden etter at sveisingen er gjennomført og dette gir påvirkning på materialkvaliteten. Hvis materialet kjøles ned for hurtig, så vil stålet få vanskeligheter med å diffundere karbonatomet. I tetragonalstrukturen (figur 18 i kapittel 3.1.2.) vil karbonatomet bli klemt mellom jernatomet og tilatter liten elastisitet (stålet fremstår som hardt). Slike strukturer har begrensede bruksområder på grunn av deres lave elastisitet, og vil dermed ikke være egnet for dynamiske påkjenninger.

3.3.1. Rotasjon

Hovedfunksjonen til rotasjonen er å skape en gitt fart på emnet ved kontaktpunktet. Som Silva (16) og Meyer (14) fremhever så er lav rotasjonshastighet den mest ideelle løsningen i friksjonssveising i forhold til optimalt resultat. Dette begrunnes med at ved høy rotasjonshastighet vil man få en polert flate ved kontaktflaten som vil kreve lengre oppvarmingstid, og avkjølingshastighet vil gå ned. Dette resulterer i lavere styrke i legeringen eller sammenføyde område. Ved å holde en lav rotasjon gjennom hele sveiseprosessen så vil det varmpåkjente -området (HAZ) holdes til et minimum og området som får en svekking i materialstrukturen begrenses.



Figur 26: Forholdet mellom påtrykk og bortbrenning (18)

(og flere) (16) (14) (17) være så stor at i en oppvarmingsfase så holdes disse friksjonsflatene sammen, hvis ikke vil det oppstå oksidasjon og i et undervannsmiljø vil man få utspalting av hydrogenatomer som diffunderer inn i materialet i sveisen. Dette kan lede til hydrogensprekker, om ikke en økt hardhet i materialet i sveiseområdet som blir nevnt senere i kapittel 5.3.1. Det beskrives og følgende: "høyt påtrykk kan føre til lokal oppvarming som følge av høy temperatur og hurtig nedkorting av emnet" (14) (16). Dette gir følger ved at emnet blir mer deformert/sveist enn nødvendig. I verste fall så blir det sammenføyde materialet for lite sammenføyde grunnet materialet har blitt brent bort.

I materialer kan det forekomme inneslutninger eller urenheter i materialet som ikke er ønskelig i sveiseområdet. Ved å ha et godt påtrykk slik at avbrenningen presser urenheter til siden vil man kunne unngå denne problematikken. I tillegg vil dette skape en slik varme at urenheterne kan tvinges ut i kantene av emnet.

Som vist i figur 26 har Ellis (18) gjort en fremstilling av forholdet mellom påtrykket og bortbrenning der man ser at en økning i påtrykket gir en lineær økning i bortbrenning. Dette forholdet blir også støttet i Duffin og Bahrans (17) studier



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

I figur 8 & 9 ser man at etter et jevnt påtrykk gjennom oppvarmings og bremsefasen, økes trykket i stukefasen. I denne fasen ser man at bortbrenningen øker i tråd med økningen i trykket, og Ellis sin fremstilling i figur 26 bekreftes.

3.3.3. Sveisetid

Sveisetiden er definert som den tiden fra kontakten skjer mellom flatene til bremsefasen er over. Dette sees i sammenheng med at rotasjonen og påtrykket i kombinasjon vil generere varme og bortbrenning. Når rotasjonen stanses genereres det ingen varmeenergi og omgivelsestemperaturen starter avkjølingen av det oppvarmede området. Blir sveisetiden lang blir det oppvarmede område større og dette område er da mer utsatt for materialstrukturelle endringer

3.3.4. Bortbrenning av avsett

Dette har med hvor mye av emnet som er kortet ned og trykkraften som virker i aksialretningen. Emnets mengde avsett, som bortbrennes, indikerer hvor mye varme som er generert og trykkraft som er påført i løpet av sveiseprosessen. Bortbrenningen er med på å bestemme sveisens egenskaper og varer fra første kontakt til stukefasen avsluttes. Bortbrenningen bestemmes av en hastighet kalt *avsettshastighet* og måles i millimeter per sekund [mm/sek] og kalles ”burn-off rate”. Raskere bortbrenning gir desto lavere sveisetid, derfor er parameteren i sveiseprosessen viktig å kjenne til.

3.3.5. Fremstilling av Meyers ”påvirkninger av sveiseparametrene”

Mekaniske egenskaper		
Sveiseparametere	Strekfasthet	Hardhet
Rotasjonshastighet	En lav rotasjonshastighet resulterer i lav strekkfasthet. Høy rotasjon resulterer i lang oppvarmingstid og gir derav utslag i kjøletiden(ref.avsnitt 3.3.1)	Høyere rotasjonshastighet resulterer i gradvis lavere hardhet. Lav rotasjonshastighet reduserer oppvarmingstiden og øker avkjølingshastigheten som gir høyere hardhet.
Påtrykk	Strekfastheten øker med aksialtrykket, jo høyere trykket er jo høyere er bortbrenningen, dermed er mengden varme generert lav. Dette resulterer i at prosessen vil gi en høyere avkjølingshastighet.	Hardheten øker med aksialtrykket. Jo høyere trykket er desto høyere er bortbrenningen. Dermed vil varmemengden generert være lav. Som resultat vil prosessen gi en høyere avkjølingshastighet.
Sveisetid	Kort sveisetid øker strekkfastheten. Området utsatt for varme (HAZ) er lite ved kort sveisetid, som resultat av dette vil avkjølingshastigheten være høyere.	Sveisetiden er den mest viktige parameteren for å kontrollere hardheten. Desto lengre sveisetid, jo lavere avkjølingshastighet. Det gir lavere hardhet.
Smikraften	Smikraften har to fordelaktig effekter på styrken i sveisen. Tilstrekkelig staking er prekärt slik at hvis det forekommer inneslutninger i materialet så vil disse brytes opp. Hvis sveisen inneholder disse inneslutningene kan dette skape en grense for de	



grove austenittkornene. Smikraften må påføres på en slik måte at man oppnår optimal duktilitet, strekkfasthet og hardhet.

Tabell 1: Meyers (14) fremstilling av sveiseparameters påvirkning

Tabell 1 er et utdrag fra Meyers sin fremstilling av sveiseparameterenes innvirkninger på de mekaniske egenskapene. En slik fremstilling er viktig å ta med seg inn i laboratoriums undersøkelser eller testoppsettet. Alle sveiseparameterne representerer en form for innvirkning på resultatet og det er da viktig å kunne gjøre seg kjent med disse før en sveiseprosedyre lages.

4. Forberedelse av labforsøk

Denne delen av dokumentet vil gi leseren en beskrivelse av hvordan prosjektgruppen mener et tilfredsstillende labforsøk bør utføres og ved hvilke betingelser man bør ta hensyn til. I dette kapitlet vil dokumentet fortelle om metoder, forberedelser, forhold som får resultater forkastet og fremgangsmåte bestående av testoppsett og – plan.

Formålet med labforsøkene er å kunne finne ut viktige parameter i en friksjonssveise prosess som gjør det mulig å generalisere funnene. Dette gir muligheter for å videreføre arbeidet i andre ønskelige retninger som omhandler friksjonssveising undervann.

Det vil videre fokuseres på finne styrken til en bolt av dimensjon 10mm i typen konstruksjonsstål S355, slik at man får troverdig forsøksdata for å kunne gi et bedre grunnlag for å definere muligheten ved friksjonssveising under vann.

4.1. Hvilke metode for laboratorium forsøk kan benyttes

Dette delkapitlet vil gi leser metoder som bør nyttes i laboratorium for å kunne finne faktorer og tallverdier på styrke, seighet, kvalitet og strukturer. Noen tester fremstår som mer teoretisk rettet og andre praktiske, men metodene som presenteres er av samme nytte for å kunne gi riktig bilde av mulighetene ved friksjonssveising under vann

4.1.1. Teoretiske beregninger basert på forsøksstall

Når en sveiser under vann vil en få en hurtig nedkjøling av sveiseområdet. Ved høy avkjølingshastighet, som nevnes i kapittel 5, kan faren for at karbonet i strukturen ikke rekker å diffundere tilbake til sine respektive plasser i gitterstrukturen oppstå. Metallet vil da ikke returnere til sin opprinnelige romsentrerte struktur, men vil heller danne en ny struktur kalt martensitt. Dannelsen av martensitt er uønsket i sveiseforbindelser grunnet den lave duktiliteten. Ved å finne en proporsjonalitetsfaktor mellom temperatur og tid ved avkjøling av valgt stål kvalitet, så vil man kunne finne den teoretiske tiden for en avkjølingsprosess av et sveist legeme. Gjennom å kartlegge metallens evne til å tilpasse seg omgivelsene, så kan man bruke fysikken i å gjøre beregninger basert på trend til emnet og dens bestemte geometriske form som gjør at man kan forutse hvilken struktur metallet vil ha under de bestemte forholdene.

**HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND**

Proporsjonalitetsfaktoren til et spesifikt testemne kan for eksempel defineres ved å utføre en enkel praktisk test:

En varmer opp testemnet til en forhåndsbestemt temperatur og kjøler deretter dette ned (eksempelvis i et vannbad) over en fastsatt tid. Ved at en da utfører flere slike tester med samme parametre og loggfører sluttemperaturen, vil en ha et godt utgangspunkt for og finne en god middelvei av sluttemperaturen. Denne kan så nyttes i uttrykket for *Newtons avkjølingslov* (under) for å bestemme en proporsjonalitetsfaktor, k , for testemnet.

Et eksempel på et skjematisk oppsett for kartlegging av resultatene er vedlagt i vedlegg 1, ”Veiledning for testloggingskjema”.

Newtons avkjølingslov (19)

t :tiden [s], $T=T(t)$ og M er temperaturen til omgivelsene

$$\frac{dT}{dt} = k(M - T) \quad (2)$$

Proporsjonalitetsfaktoren k er et mål på hvor fort temperaturen endrer seg.

Hvis $T > M$, så avtar T :

$$\frac{dT}{dt} < 0 \wedge M - T < 0 \rightarrow k > 0$$

Hvis $T < M$, så øker T :

$$\frac{dT}{dt} > 0 \wedge M - T > 0 \rightarrow k > 0$$

$$\int \frac{dT}{M - T} = \int k dt, T \neq M$$

$$-\ln|M - T| = kt + C_0$$

$$M - T = Ce^{-kt}, C \in \mathbb{R}$$

Gir den generelle løsningen

$$T = M - Ce^{-kt}$$

$T(0)=T_0$ gir $C=M-T_0$

$$T = M - (M - T_0)e^{-kt} \quad (3)$$

Anvendelse av forsøksdata

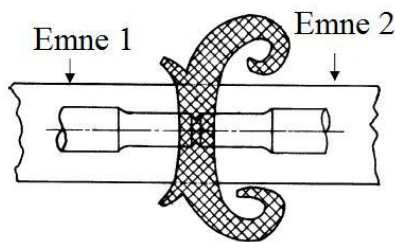
Man er nå i stand til å kunne finne ut hvor lang tid det tar før boltens temperatur har tilpasset seg omgivelsene eller gitt temperatur. Dette er svært nyttig for å kunne dokumentere faren for martensittdannelse og et eventuelt behov for et semi- habitat/ matter rundt sveiseområde for at materialet ikke skal miste for mye av sin originale kvalitet.

4.1.2. Bruk av reelt utstyr

I denne forsøksmetoden vil en lage en testbenk for testing av utstyret og måling av resultat. Eventuelt montere utstyret direkte på en ROV og ta i bruk utstyret under reelle omgivelser. I pkt 4.2 vil det bli beskrevet hvordan en metode med testbenk skal utføres slik at man kan identifisere de mest ideelle parameterne for å oppnå best sveisekvalitet. Denne metoden er praktisk rettet og tar hensyn til de varierende faktorene som påvirker sveisekvaliteten. Dette vil bli mer forklart i pkt 4.2.

4.1.3. Strekkprøve

Når det foreligger nok data på de mest ideelle parameterne for å oppnå den sveisekvalitet man ønsker å undersøke. Da kan man utføre disse sveisene ved å sveise et testemne på et annet



Figur 27: Skissering av strekkprøve fra en friksjonssveiset sammenføyning

emne. Emnene bør være av en slik dimensjon at man kan dreie emnet ned til en strekkprøve etter NS-EN ISO 6892-1:2009. Det som er viktig når man dreier ned et friksjonssveist emne er å få sveiseseømmen på midten av prøvestaven, slik vist i figuren under. I denne metoden vil man kunne finne ut bruddgrense, flytgrense, tøyning, og innsnevring av emnet etter det er blitt sammenføyd. Denne

metoden gir også en mulighet for sammenligning mellom friksjonssveising utført i luft kontra under vann. Slik sammenligning vil gi informasjon om graden av kvalitetsreduksjon i å foreta sveiseoperasjonene i vann

kontra utføre disse i et habitat.

4.1.4. Bøyeprøving

Bruken av bøyeprøving er en metode som utføres ved at materialet er opplagret i to punkter, og en dor presses ned mellom opplagrings punktene. Denne type prøving er veldig effektiv i forhold til å teste sveiseforbindelser for å se om materialene er riktig sammenføyd. I en slik test finner man ut hvor stort moment man kan utsette de enkelte bolt dimensjonene før de ryker i sveisen.

4.1.5. Metallografisk undersøkelse

Undersøkelsen baseres på at man ser på den mikroskopiske overflaten i et snitt laget på langs av det sammenføyde emne. Det må gjøres et omfattende forarbeid til denne undersøkelsen.

**HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND**

Dette innebærer:

- Slipe emnet
- Polere emnet
- Etse overflaten med syre
- Mikroskopering
- Dokumentering

Dette gjør at man vil kunne se på emnet i et mikroskop og hvor langt inn eventuelle struktur endringer går, i tillegg vil en kunne fastsette hvilke strukturer emnet består av. En slik metode gir muligheten for dokumentering av strukturendringer i metallet i forhold til klassifisering eller godkjenning fra styrende organer som ønsker slik dokumentasjon.

4.2. Forberedelser til forsøk

Alt etter hvor man ønsker å holde testen, enten det er innendørs eller utendørs, er det viktig å planlegge og få en oversikt over utstyret som skal nyttes. For eksempel om man under testen må ha tilgang på vann eller strøm til utstyr og hvordan tilgjengelighet for dette er på testområdet. Eventuelle begrensninger tilknyttet testområdet eller scenarioer som vil kunne forhindre forsøkene. I underkapitlene her vil det beskrives de forberedelser en må ta før en kan gjennomføre forsøkene. Forsøkene skal utføres med bruk av reelt utstyr under reelle omgivelser i en testbenk nedsenket i et sjøvannsbad.

4.2.1. Forberedelser til forsøk av friksjonssveiste forbindelser

I forkant er det viktig at det foreligger en hypotese eller kvalifisert gjetning av hvilke turtall og krefter som skal til for å kunne få den beste kvaliteten på sveiseforbindelsen. I denne fasen vil teori og annenhånds informasjon/data spille en stor rolle for å kunne snevre inn til en god hypotese.

I en startfase av testingen vil man måtte basere seg på annenhånds informasjon fra forsøk av lignende type. Sathiya m. fl (20) har i deres dokument gjort testinger av forskjellige parametere med gode data er på å oppnå kvalitet og de gir gode rom for avgrensninger. I tillegg har Sahin og Akata (21) gjort gode parameter funn og blant annet presenterer de det de ser på som optimale parametere. Gjennom denne annenhånds informasjonen kombinert med de teoriene som tidligere er nevnt kan man danne en god hypotese, noe som blir fremstilt i testplanen både i vedlegg og i pkt 4.4.8.

Når man har kommet til fasen der man vet hvilke turtall og krefter man ønsker å innlede forsøkene med må man anskaffe utstyr og materialer som tillater å kunne utføre disse forsøkene. I pkt 4.4.6. presenteres det utstyret som trengs både til utførelsen og sammensetningen av testoppsettet.

Når sammensetningen av testoppsettet er ferdig gjelder det å gjøre seg kjent med testutstyret for å sikre presisjon i utførelsen og redusering av feilmålinger grunnet feil bruk av utstyr.

**HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND**

Deltakerne må gjøre visuelle sjekker av utstyr på både før, under og etter funksjonstest og prøveforsøk. Måleutstyr som skal brukes må kalibreres og verifiseres etter ønsket nøyaktighet, slik at parametrene er lett å lese av og gir valide målinger.

4.3. Forhold som kan få resultater forkastet og måter å unngå det

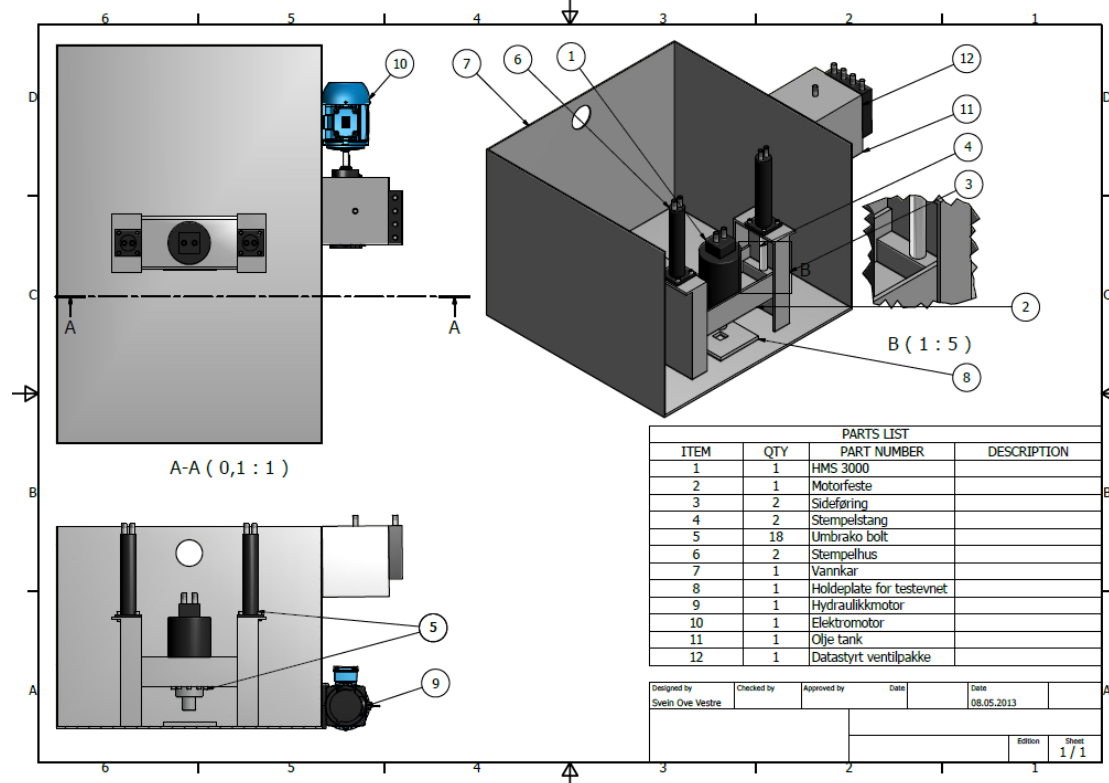
Når man foretar disse forsøkene er det fremlagt forhåndsbestemte parametere testdeltakerne skal følge og i punktene under *måleoppsett* er det nevnt parametere og de avvik som tillates. Hvis målingen av parametrene havner utenfor dette tillatte området skal resultatet forkastes.

Hvis forsøkene skulle vært utført ved forskjellige testområder eller miljø slik at omgivelsene rundt er så forskjellige at en har problemer med å gjenskape de samme resultater grunnet ukontrollerbare faktorer. Så forkastes eller så er ikke forsøkene sammenlignbare og man må gjøre testene på ny.

Hvis spredningen av resultatene er så stor at det er vanskelig å si at forsøkene er kompatible og sammenlignbare, vil det være riktig å forkaste testrunden og se på testmetodikken og de forhåndsbestemte parametre. I slike tilfeller kan man tilpasse testmetodikken slik at man sikrer seg mot for stor spredning av resultatene.

4.4. Skisse testoppsett

Testoppsettet kan sveise aksling/bolt i dimensjonsområde Ø10 - Ø25mm og lengder fra 20mm til 200mm. Merk: skissen viser ikke hydraulikkslanger, rør og evt. andre eksterne tilkoblinger.



Figur 28: Testoppsett

4.5. Fremgangsmåte for laboratoriums forsøk

Dokumentet skal forklare deltakeren hvordan en systematisk gjennomfører forsøkene og hvordan man bruker utstyret under kontrollerte forhold. I denne testen er målet å ta i bruk utstyr, påtenkt en ROV, og en ønsker å sette det i en testbenk for innendørs testing for og oppnå best mulig kontroll over parametere og omgivelser.

4.5.1. Påtrykk

Når man tester påtrykkets innvirkning på resultatet, så må man påse at rotasjonen og bortbrenningslengden endres minst mulig for å se innvirkningen av påtrykket på resultatet. Først bør en finne et intervall av trykk man skal teste innenfor. Her kan man dra nytte av å bruke empirisk tilnærming eller annenhånds informasjon for å redusere antall forsøk i forhold til avgrensningen av intervall område. Ved bruk av manometer må man huske å ta hensyn til at trykk er kraften over et gitt areal. Hvilken kraft som påføres ved gitt måling må regnes ut i forkant slik at man vet å velge riktig manometer og manometerintervall for den aktuelle testen.

4.5.2. Rotasjonshastighet

Ved å kontrollere oljestrømmen til motor som driver verktøyet vil man kunne styre rotasjonshastigheten. Som nevnt i pkt 3.3.1. så er det mest ideelt å ha så lav rotasjonshastighet som mulig for mest optimale resultater. I en testfase vil det å

**HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND**

justere rotasjonshastigheten lavere være naturlig i forhold til empiriske dataer gitt av Meyer (14) og Silva (16). Når man skal forhåndsjustere rotasjonshastigheten bør en bruke et Tachometer og kartlegge hvilke rotasjonshastigheter motoren gir ved de forskjellige oljestrømningene. Slik kartlegging bør gjøres over vann slik at man kan se hvilke påvirkninger som skjer med volumstrømmen ved økt torsjon som følge av sammenkobling.

4.5.3. Bortbrenning

Ved forhåndsinnstilling av testbenken vil man kunne justere bortbrenningen av emnet, slik at en har kontroll over hvor mye av emnet som skal gå med under sveisingen og hvilken innvirkning dette har på resultatet. Tidligere i pkt 3.3.4. nevnes det at bortbrenningen er med på å bestemme sveisens egenskaper, derfor vil dette være et nyttig parameter å teste. Som nevnt tidligere når man tester en parameters innvirkning på resultatet, må man påse at de andre parameterne endres minst mulig for å se nettopp kun den ene parameterens innvirkning på resultatet.

Under er en punktforklaring av hvordan forsøket skal gjennomføres. Denne skal følges når man har kommet til den fasen i testingen at forberedelsene er gjort og testbenken er klar

4.5.4. Forsøk 1:

- 1) Gå gjennom forberedelser og HMS
- 2) Visuell sjekk over utstyr
- 3) Funksjonsteste utstyret ved å gjøre et prøveforsøk
- 4) Sjekk for lekkasje og løse koblinger
- 5) Tilbakestill utstyr å still inn rette verdier (rotasjonshastighet, friksjonskraft og vandringslengden til utstyret til forbestemt bortbrenningen) i data.
- 6) Legg i testplate og skru inn bolt
- 7) Utfør første forsøksrunde
- 8) Loggfør og merk resultatene
- 9) Påse at forholdene er like (innstillinger, temperatur, posisjon)
- 10) Utfør neste forsøksrunde

4.5.5. Forsøk 2:**Strektest:**

- 1) Sveis en aksling på en plate med testbenk, sveis så en aksel på første aksel
- 2) Kutt av plate og drei ned den sammenføyde akselen til respektive mål
- 3) Visuell sjekk over utstyr
- 4) Funksjonsteste utstyr
- 5) Tilbakestill utstyr og still inn de rette verdier
- 6) Strekk prøvestaven til brudd
- 7) Før inn måledata i vedlegg 2.

**HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND****Torsjonstest:**

- 1) Spenn opp en ferdigsveist forbindelse i skrustikke (bolt på plate)
- 2) Skru på to høye mutrer som strammes mot hverandre (kontramutter)
- 3) Vri så av med momentarm med max-verdi
- 4) Før inn måledata i vedlegg 2

Momenttest:

- 1) Spenn opp en ferdigsveist forbindelse i skrustikke (bolt på plate)
- 2) Tre stålørret over bolten
- 3) Sett fiskevekt på toppen av ørret å dra i vekten til bolten gir etter i radiell retning.
- 4) Før inn måledata i vedlegg 2

4.5.6. Utstyr/testoppsett**Forsøk 1.**

- Testbenk: HMS-3000, tilhørende pumpe, ventilpakke, hydraulisk sylinder 100t og loggbar instrumentering
- Vannkar i stål (1.5x1.5x1.5x0.01m) med drenerings muligheter
- Ramme fundament for montering av HMS 3000 i vannbad
- Testemner: x-stk 150mm M10 gjengestenger, 1480x800x10mm stål plate med løfteører
- Sikkerhetsutstyr for deltakere: Briller, vernehanske, vernesko, kjeledress, hørsel vern, brannslukker
- Talje til løft av vannbad, HMS 3000, etc
- Tachometer
- Temperatur måler, 0-1000C°
- Digitalt kamera

Testbenk

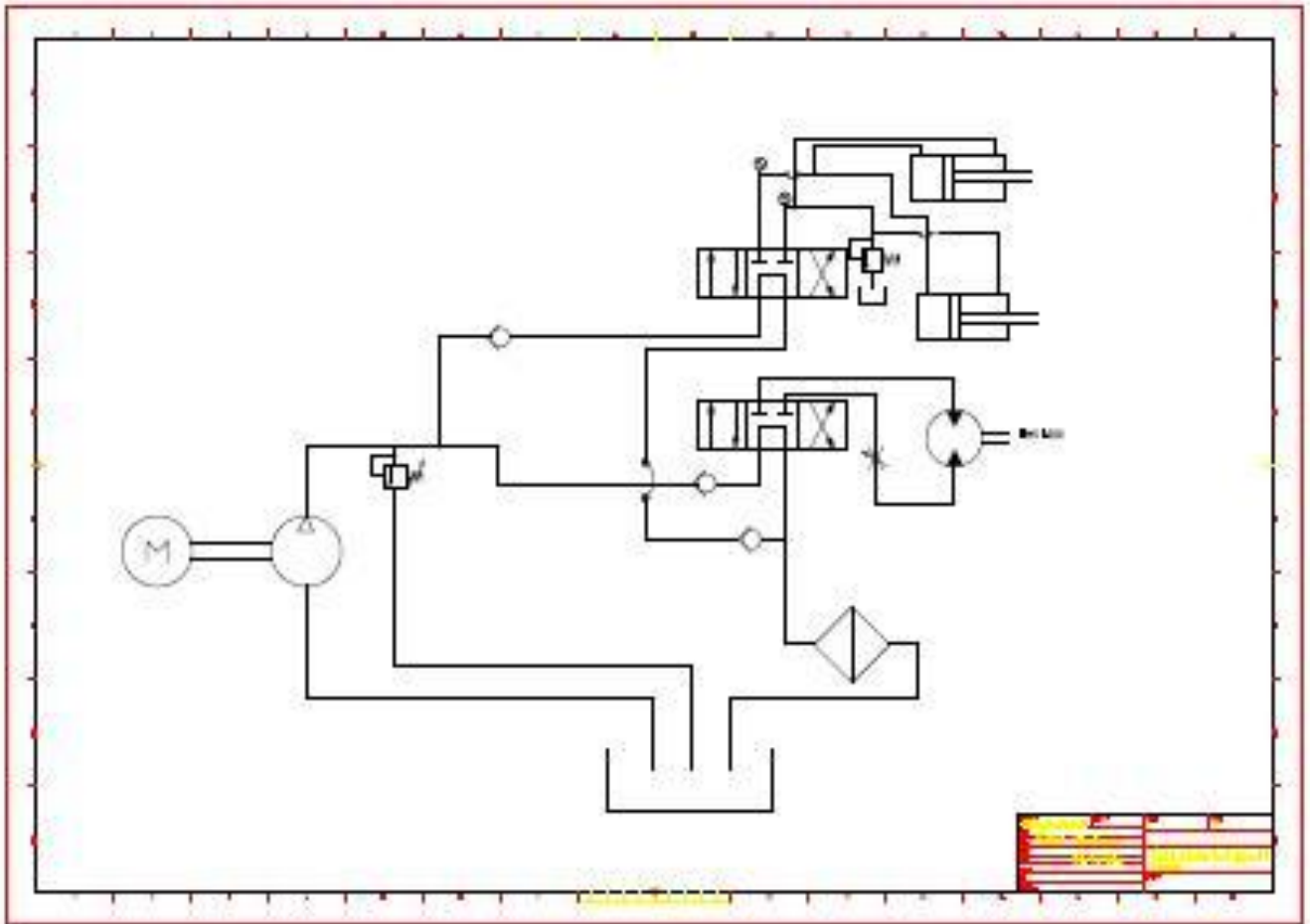
Denne skal være en komplett hydraulisk pakke for å kunne operere HMS-3000 og logge parametre under en sammenføyningsprosess. En skal kunne forhåndsinnstille turtallet og vandringslengden til utstyret samt kontrollere bremsing og avlesing av stuketrykket.

Sveiseparametrene kan hele tiden fjernstyres av operatøren under sveiseoperasjonen dersom endringer i parametrene måtte være nødvendig. Logging av parametre under operasjonen lagres i kontrollsystemet for å sikre dokumentasjon av sveisingen. HMS-3000 har mulighet til å sveise bolter og akslinger fra 10mm til 25mm i diameter.



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

HMS-3000 er en portabel friksjonsboltsveisemaskin som er hydraulisk drevet. Den har en egenvekt på 16kg. Under drift er det hydrauliske oljebehovet 76 l/min.



Figur 29: Blokkskjema for hydraulisk testoppsett

Vannkar

Dette er et kar tilpasset størrelsen til rammefundament for montering av HMS 3000. I tillegg er det viktig at ikke den varmeutviklingen som skjer endrer mediets temperatur slik at man ikke får realistiske parametere eller omgivelser. Karet bør også ha et termometer for å overvåke mediets temperatur.

Ramme fundament for montering av HMS 3000

Testbenken bør være av en slik karakter at den kan representere krefter eller påtrykkslengder tilsvarende en arbeids-ROV. Benken settes opp slik at forsøkene blir ideelle og er homogene under de samme parametere. Bør innholde følgende:



Bolter

**HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND**

De aktuelle dimensjonene på boltene er 10-25mm. Gjengestengene vil være i materialklassen S355-konstruksjons stål. En trenger anslagsvis 100stk. I figuren er det et bilde av galvaniserte gjengede bolter, men i dette tilfellet skal de ikke være

Figur 30: Bilde viser gjengede bolter som er varmgalvanisert (22).

overflatebehandlet. Bildet er kun for illustrering

Sikkerhetsutstyr

Deltakerne skal bruke vernebriller, vernehanske, vernesko, kjeledress, hørselvern under testing av hensyn til egen helse.

5T Kjetting talje

Skal være sertifisert men må også testes før og sjekkes visuelt før bruk. Taljen skal nyttes til løfting av tunge gjenstander eksempelvis ved montering av rammefundament, løft av testemnet (platen) og vannkar med vann som kanskje må dreneres borte ifra testplass.

Figur 31: Kjettingtalje 5 t (27)

**Tachometer**

Rpm måler om en vil. Skal brukes for å kontrollere forhåndsinnstilt turtall på HMS-3000.

Figur 32: Laser tachometer (26)

Temperatur**måler**

Det mest praktiske varianten vil være et infrarødt laser termometer

Figur 33: Laser termometer (25)

**HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND****Strekktest:**

- Strekktester som tilfredsstillers NS-EN ISO 6892-1:2009
- Dreiemaskin
- Vinkelsliper
- Vedlegg 2
- Digitalt kamera

Torsjonstest:

- Momentnøkkel med max-verdi.
- 2stk M10 muttere
- 2stk 17mm fastnøkler
- Skrustikke
- Digitalkamera

Momentest:

- 1m Stålrør med innvendig diameter på Ø12
- Fiske vekt 0-50kg
- Skrustikke
- Digitalkamera

4.5.7. Sikkerhetstiltak for laboratorium forsøk**4.5.7.1. HMS****4.5.7.1.1. Nødstop**

Testbenk skal være utstyrt med en godt synlig nødstop og denne skal være lett tilgjengelig under forsøk eventuelt være bemannet. Hensikten er å ha mulighet for å stoppe utstyr i bevegelse dersom skade på person eller material skulle forekomme. Nødstoppen skal ikke brukes som stoppknapp i normal drift, men kun i nødstilfelle. Når testdeltakere jobber rundt eller betjener det roterende verktøyet skal nødstoppen være aktivert som en sikkerhetsbarriere.

4.5.7.1.2. Utsatte steder (brannskade, klemskade, prosjektilfare)

Før en begynner testforsøkene må deltakerne gjøre en grov analyse av de forskjellige laboratoriums forsøk for å kunne identifisere uønskede hendelse som kan inntreffe i en slik prosess. I denne prosessen er det viktig å bevisstgjøre alle deltakerne om det er utsatte steder i forhold til brannskader, klemskader og lignende.

4.5.7.1.3. Beredskap/Evakueringsplan til aktuelt lokal.

Testdeltakeren(e) skal gjøre seg kjent med brannvern på testområde og de prosedyrer som eventuelt allerede foreligger der. Det skal også gjøres en risikovurdering om det er en reell sannsynlighet for brann og klargjøre verneutstyr deretter. Testdeltakeren(e) skal

- kjenne til mulige rømningsveier
- vite hvor brannslukningsapparat står

**HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND**

- vite hvor førstehjelpstyre er
- vite hvor en finner oljeabsorberende matter/sand
- vite hvor en finner vanntilførsel

4.5.7.1.4. Personlig helse (Verne utstyr, skader etc.)

Deltakerne skal bruke følgende utstyr i forsøkslokalet:

- Vernesko
- Vernebriller
- Kjeledress
- Hørselvern

Vær oppmerksom på fare for klem og kuttskader ved operasjon av utstyr

4.5.7.1.5. Miljø (oljesøl og andre påvirkninger)

Testdeltakeren(e) skal gjøre seg kjent med testområdet forurensningsvern eller de tiltak som må gjøres i forkant for å spare miljøet ved et eventuelt olje- eller kjemikaliesøl.

4.5.8. Sette opp en testplan.

Under foreligger det en testplan som skal brukes i de innledende fasene av labforsøket. Den baserer seg på en elimineringsmetode hvor en da systematisk tester seg gjennom flere turtall, krefter og tidsbruk (*Tabell 1*). Når en da har gått gjennom hele spekteret, starter en på ny mellom de turtall og kraftsområde som gav de tilsynelatende beste resultatene (*Tabell 2 utfylles*) I tabellen ligger det forhåndsbestemte verdier på parameterne som er en del av hypotesen angående riktig parametere for friksjonssveising under vann. Tanken bak verdiene er som tidligere nevnt lav rotasjonshastighet og kontroll på påtrykkstiden. Testplan legger opp til kontrollering av mengde avsett og kraften som kreves til steking blir den målte parameteren. Den målte kraften vil gi en verdi som holde- /klemanordningen til sveiuststyret skal tåle og må dimensjoneres etter.

Testnavn:		Testdeltagere:						
Forsøk snr.	Omdreinings hastighet [rpm]	Påtrykk [kN]	Påtrykk tid [s]	Bort brenning [mm]	Stuke kraft [kN]			
XXXX-XXXX-XX-XX	1000	7,5	6	10				
	1000	8,0	5	10				
	1000	8,5	4	10				
	1250	7,5	6	10				



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

	1250	8	5	10				
	1250	8,5	4	10				
	1500	7,5	6	10				
	1500	8	5	10				
	1500	8,5	4	10				

Tabell 1

Forsøk snr.	Omdreinings hastighet [rpm]	Påtrykk [kN]	Påtrykk tid [s]	Bort brenning [mm]	Stuke kraft [kN]			
	...000	...	..	..	
	...000	...	..	..	
	...000	...	..	..	
	...000	...	..	..	
	...000	...	..	..	
	...000	...	..	..	

Tabell 2

Forsøk nr. 2

Forsøks nr.	Temp-ratur [°C]	σ_n [kN/mm ²]	T_A [kNm]	M_a [kNm]
XXXX-XXXX-XX-XX				



4.5.9. Testparametre/ Måleoppsett/ Instrumentering/Målesikkerhet.

4.5.9.1. Testparametre

Alle parameterenheter vil være basert på det internasjonale systemet SI (*Système International d'Unités*) og alle retningslinjer som gjelder for dette systemet vil bli fulgt og skal følges i føringen av vedleggsdokumentene knyttet til laboratoriumsforøk.

Newton [N] – alle målinger gjort av kraft vil ha denne enhet

”Revolutions per minute” [rpm] – Rotasjonshastigheten på sveisemaskinen måles i denne enheten

Sekunder [s] – Tidsmålinger gjøres i denne enheten

Millimeter[mm] – Alle lengdemål gjøres i denne enheten

Celsius [°C] – Temperaturmålingene som foretas i labforsøket gjøres denne enheten

Newton per kvadrattmillimeter[N/mm²] - Alle målinger forbundet med strekkfasthet omtales i denne enheten, men har benevningen[σ]

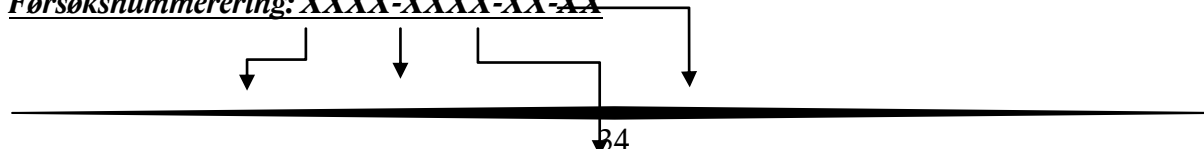
Newton meter[Nm] - Alle målinger forbundet med bøyning og vridning omtales i denne enheten ,men vridning(”Torsjon”) har benevningen[T] og bøyemoment har [M]

4.5.9.2. Måleoppsett

Kolonne nr. 1- Forsøksnr.

I første kolonne skal det skrives inn et nummereringssystem som gjør det mulig å kunne finne tilbake til hvilke parametre forsøksresultatet ble testet med. Under vises en anbefalt metode for lett å kunne finne frem til hva testresultatet ble sveiset med av parametre.

Forsøksnummerering: XXXX-XXXX-XX-XX



**HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND**

Omdr.hastighet[rpm] Aksial kraft[N] Avsettsmengde[mm]

Sveisetid[s]

Kolonne nr. 2- Omdreiningshastighet

I denne kolonnen skal testdeltakeren lese av hvilken hastighet forsøket skal testes med. Tachometermålingene skal ikke ha feilmarging på over $\pm 5\%$ av den forhåndsbestemte hastigheten.

Kolonne nr. 3-Aksial kraft

Dette er påtrykket som skal holdes inntil rotasjonen brytes og testdeltakeren skal utføre hvert forsøk med den forhåndsbestemte kraften. Avlesningen av kraften som forsøket utføres med leses i manometeret montert på testbenken. Aksial kraften som forsøket utføres med skal ikke overstige $\pm 5\%$ av den forhåndsbestemte kraften.

Kolonne nr.4- Sveisetid

Sveisetiden er som definert tidligere i pkt. 3.3.3. tiden fra første kontakt til bremsefasen er over. Altså er sveisetiden den tiden det tar fra emnene går inn i hverandre til rotasjonen har stoppet. Denne definisjonen skal testdeltakeren kunne videreføre over i testbenkens funksjonalitet, slik at testdeltakeren kan håndtere denne parameteren og kontrollere den. Dette punktet tillater ingen avvik fra den forhåndsbestemte tiden.

Kolonne nr.5-Nedkorting eller bortbrenning

I denne kolonnen skal deltakeren lese av hvilken lengde som testemne kan kortes ned med og deltakeren må forhåndsinnstille testbenken slik at vandringen av forsøksemnet tilsvarer lengden som står i her denne kolonnen.

Kolonne nr.6- Stukekraft

Denne kolonnen skal det gjennomføres fire forsøk for hver av de forbestemte parameterkombinasjonene. I disse kolonnene skal den maksimale stukekraften som leses av i manometeret når rotasjonen stanses og det kun stukes, føres inn. Fra disse målingene bør det regnes ut et standardavvik og en varians for å kunne se om dette kun var tilfeldige målinger eller om de samsvarer med hverandre.

Skulle målingene ha stor spredning, bør man vurdere reliabiliteten til målingene. Ved stor spredning

4.5.9.3. Målesikkerhet

Bruk standardavviket til å anslå om det er validitet til verdiene funnet i testene. Hvis standard avviket er lavt kan man anse resultatet man har kommet frem til som korrekte. Siden det er lavt standard avvik så taler forsøkene til at man er enige i de svarene man har kommet frem til. Hvis det er stor spredning så kan man si at det er uenighet om resultatet og man kan stille spørsmålstegn ved resultatets nøyaktighet.

Regn ut middelerdi \bar{X} for målinger gjort.



$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

Varians

$$\text{var}(X) = \sigma_X^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2$$

Standardavvik

$$\sigma_X = \sqrt{\text{var}(X)}$$

5. Utfordring rundt marinisering av verktøyet

Ved design og bruk av utstyr under vann er det en del utfordringer en må ta hensyn til. Dette kommer blant annet av naturlige fysiske forhold, men også en del utstyrs-/prosess spesifikke årsaker. Det vil her forklares litt om de hovedutfordringene dette vil bringe på banen generelt ved konstruksjon og bruk av utstyr under vann. Senere vil utfordringer som er direkte relatert til friksjonssveising av bolter/emner bli belyst.

Av naturlige forhold av betydning nevnes i kompendiet til Lindaas, "Undervannsteknologi" (11), blant annet:

- Hydrostatisk trykk på utstyret som oppstår alt etter hvilket havdyp det opereres på.
- Korrosivt miljø
- Relativt lav temperatur cirka 4°C, alt etter havdyp og lokasjon.
- Sjøvann som et inkompressibelt medium
- Strømforhold i vannet
- Siktforhold i vannet

Utstyrs-/prosess relaterte forhold som må tas til følge vedrørende FS under vann:

- Sjøvannets påvirkning på sveiseforbindelsen
- Store krefter involvert i sveiseoperasjonen krever egnet feste/klem anordning
- Marin begroing og annet belegg på overflater som skal sveises



5.1. Utfordringer for utstyr omgitt av sjøvann

Hydrostatisk trykk

Som kjent regner en omtrentlig med at et vandyp på 10m gir et tillegg i hydrostatisk trykk på 1 bar. Videre vil da et dyp på 300m tilsvare røflig 30 bar. Dette vil etter hvert kunne medføre store eksterne trykkrefter på utstyr og beholdere nedsenket i vann i forhold til hva de er utsatt for på landjorden hvor de normalt kun blir utsatt for atmosfærisk trykk. For roterende utstyr spesielt stiller dette store krav til valg av tetningsmateriale og tetningsløsninger. Ved valg av kraftoverføring til utstyr fra overflate/fartøy eller ROV er dette stort sett basert på hydraulikk, men og etter hvert noe mer elektrisk. Hydrauliske systemer er mye anvendt da de generelt har et meget bra kraft/vekt forhold, dvs. en hydraulisk motor er normalt mye mindre fysisk og lettere enn en elektromotor av samme effekt. Videre kan en som nevnt av Lindaas (11) også i stor grad bruke noenlunde standard hydraulikkomponenter såfremt en har et hydraulikkanlegg som har evnen til å kompensere for det eksterne trykket med såkalte kompensatorer. Det hydrostatiske trykket vil da også i neste omgang kunne ha stor innvirkning på driftsforholdene i et hydraulikk anlegg. Spesielt da med tanke på forurensning av oljen som ofte er et sårt punkt for et hydraulikkanlegg.

Korrosjonsmiljø

All bruk av utstyr i nærheten av og nedsenket i sjøvann må vurderes med tanke på korrosjonsbestandighet. Valg av materiale og evt. type beskyttelse mot korrosjon må vurderes ut fra hvilket utstyr dette er og hvilken funksjon det har. Eksempelvis med tanke på om dette er permanent utstyr som skal bli stående under vann, eller bare sporadisk bli brukt og senere tatt til overflaten for ”avfersking”. Beskyttelsen kan bestå av maling/overflatebehandling, katodisk beskyttelse (enten ved bruk av offeranoder eller påtrykt spenning) eller materialer som er sjøvannsbestandige (eksempelvis syrefast stål, kompositt eller andre plastmaterialer.)

Temperaturforhold

Videre vil temperaturen i vannet kunne påvirke utstyr og prosesser som foregår nedsenket i sjøvann. Normalt sett antas 4⁰C som en normal sjøvannstemperatur nær havbunnen, i alle fall i nord-europeiske havområder og på relativt dypt vann. Denne temperaturen har helt klart innvirkning på bruk av viskøse væsker i vannet som f.eks hydraulikkoljen til bruk i ROV, ventiltreet eller andre hydrauliske systemer i sjøvann.

Sjøvann som inkompressibelt medium

Det må og tas i betraktning at sjøvannet som kjent er et inkompressibelt medium i motsetning til luft. Dette stiller utfordringer vedrørende bruk av forskjellig utstyr designet for anvendelse i luft i forhold til bruk under vann. Eksempelvis nevnes i ”Undervannsteknologi” (17) hurtigkoplinger for hydraulikk slanger og sammenkopling av elektriske kontakter under vann. Her må utstyret designes slik at det unngår ”stempel” effekten ved sammenkopling og derved sørge for at vannet ikke forhindrer selve sammenkoplingen.

**HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND****Siktforhold**

Et annet viktig moment spesielt rundt operasjon som involverer dykkere og ROV i vann er siktforhold. Det kreves mye lys for i det hele tatt å ha noe sikt i havdypet og det må i tillegg unngås unødvendig ”oppvirvling” av havbunn som vil forverre sikten betraktelig.

Marin begroing og annet overflatebelegg

Med tanke på bruk av FS verktøyet på strukturdeler dekket av eksempelvis marin begroing, vil det i første omgang være mest aktuelt å rengjøre festeområdet for en eventuell klemmeanordning. Rengjøringen gjøres da ofte med høytrykksspyling fra ROV eventuelt rengjøring med roterende børster. Behovet for rengjøringen avhenger da av valgt festeanordning og forklares nærmere i kap.5.2. FS gjennom maling og ”coating” vil i følge Proserv (7) ikke være noe problem da selve prosessen sørger for å ”brenne” av og skyve belegg og urenheter ut av sveisesonen.

5.2. Spesifikke forhold vedrørende friksjonssveising under vann

Det vil her belyses noen problemstillinger som anses aktuelle vedrørende marinisering av det spesifikke utstyret og faktorer som vil kunne innvirke på selve sveiseprosessen.

5.2.1. Hydrogensprøhet

En av de største utfordringene rundt sammenføyning av strukturer og strukturer generelt er nettopp hydrogen induisert sprekke dannelse (6). Dette gjelder for så vidt både på land og i undervannsmiljø, men er uansett basert på at hydrogen diffunderer inn i metallstrukturen og skaper ekstra spenninger og stivhet i strukturen slik at metallet blir sprøere og mindre duktilt. Det vil da oppstå såkalt hydrogen-sprekking. For at denne sprøheten (tilstanden) skal opptre må det være hydrogen tilgjengelig og i tillegg må forholdene ligge til rette for utskilling av hydrogenatomer. Typiske kilder vil være vann (H_2O), eller hydrogensulfid (H_2S) som eksempelvis kan finnes i petroleumsprodukter, naturgass og borevæsker for og nevne noen. Høyfast stål har vist seg å være mer utsatt for hydrogensprøhet og økende fasthet ser ut for å øke mottakeligheten til materialet. Martensittiske stål er spesielt utsatt for denne typen av feil, mens bainittiske og ferrittiske stål viser seg å være mer motstandsdyktige. Videre har legeringer av kubisk flatesentrert struktur (FCC; austenittiske rustbestandige stål, aluminium etc.) også bra motstandsdyktighet mot hydrogensprøhet, hovedsakelig på grunn av deres gode duktilitet. (6)

Innenfor FS området er dette nok mest aktuelt ved at den hevede temperaturen som oppstår i sveiseprosessen vil kunne øke faren for at hydrogenet i sjøvannet vil kunne diffundere inn i stålet som sammenføyes.

Likevel, som nevnt i kapittel 3.3, påstås det at det ikke vil være den samme faren for at dette vil skje ved nettopp friksjonssveising. Dette på grunn av at metoden i utgangspunktet er en plastisk deformasjonsprosess der grunnmaterialene som sammenføyes ikke smeltes, men

**HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND**

stukes i sammen. Her kommer igjen viktigheten av at flatene holdes konstant under press til de er helt sammenføyet til syne ved at dette da hindrer sjøvannet med sine hydrogen atomer i å ”slippe til” i mellom de to kontaktflatene. Det antas at hydrogen vil kunne diffundere inn i den noe varmere avbrenningen/avsettet som oppstår ved FS mens det noe kjøligere området i senter av den sammenføyde bolten/emnet skal da være upåvirket av dette.

I spesielle tilfeller hvor det skulle kreves strengere krav til sammenføyningen, eksempelvis ved bruk til festepunkter, midlertidige løftepunkt osv. vil det kunne være som Blakemore (8) kommenterer i sitt skriv om friksjonssveising aktuelt å bruke en type skum eller isolerende beskyttelse av et slag like rundt bolteemnet for å senke avkjølingstiden noe og for å forhindre den direkte kontakten med sjøvann under selve sammenføyningen.

5.2.2. utfordringer med de store krefter involvert i FS under vann

Som nevnt innledningsvis er det meget store krefter involvert i sveiseprosessen, selvsagt noe avhengig av dimensjon på boltene som skal sveises, men allikevel fører dette uansett til nødvendigheten av en solid forankring/klemanordning av sveisemaskinen til strukturen som skal sveises. På land i maskineringshaller nyttes ofte store dreiebenk-lignende maskiner for denne typen operasjoner hvor delene blir fastholdt under operasjonen. Når dette utstyret skal brukes under vann og være noenlunde portabelt og aller helst brukervennlig av kanskje både dykkere, men i alle fall av et ROV-system, stiller dette store krav til design av klemmeanordningen/verktøy-holderen.

Generelt sett brukes forskjellige klemmeanordninger til mange forskjellige typer verktøy og operasjoner i undervannsmiljøet og er gjerne skreddersydd til de spesifikke jobbene. Her vil de 4 hovedprinsippene klemmeanordninger, som definert av Blakemore (8), beskrives.

Mekaniske klemmer

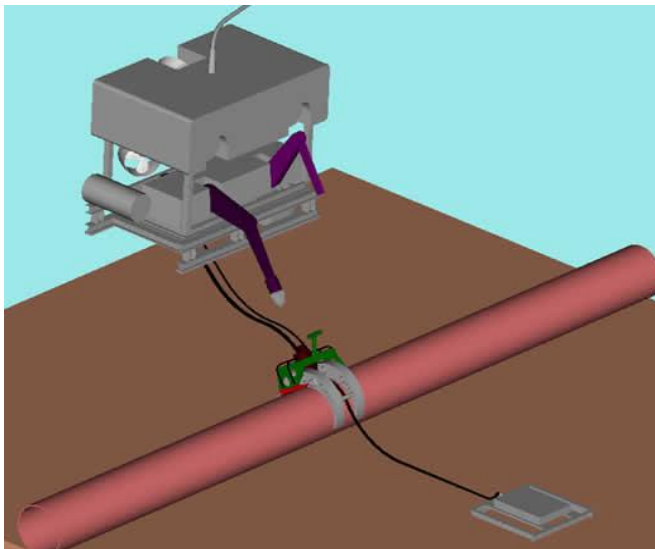
Dette er den største gruppen og kanskje det mest anvendte prinsippet. De mekaniske klemmene er ofte designet spesifikt for oppgaven de er rettet mot, eksempelvis for klemming rundt rør, profiler, ”grating” osv. Operasjon og kontroll av disse klemmene kan være alt fra enkleste type med manuell justering og styring til avanserte hydrauliske full- automatiserte klemmer. Standard mekaniske klemmer er typisk tilgjengelige for bruk på rør/struktur med diameter fra 50mm opp til 2meter. (8)



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND



Figur 34 - Mekanisk klemme for tilkopling av HMS3000 mot rørledning (7)



Figur 35 - Skjematisk tegning av ROV som opererer FS verktøy for montering av anodeslede til rørledning vha mekanisk klemmeanordning (7)

Magnetiske klemmer

Prinsippet nyttes mye på land i verksted og stålindustrien blant annet til alt fra transport/løfting av stålskrap, stålgods, låsing og klemming av maskineri og utstyr etc. Det finnes i hovedsak to forskjellige prinsipper av magnetiske klemmer til dette formålet, nemlig permanent magnet og elektromagnetiske klemmer.

Permanentmagneter består av materialer som kan bli magnetisert av et eksternt magnetfelt og forbli magnetisk selv etter at det eksterne magnetfeltet fjernes. Disse materialene er enten ferromagnetiske eller ferrimagnetiske og består oftest av enten jern, nikkel eller kobolt. Det er disse grunnstoffene som gir de magnetiske egenskapene. (23). Klemmene basert på dette prinsippet virker slik at en eller flere magneter kontrolleres/styres slik at de enten er i kontakt med godset til selve klemmen/klemmeplaten eller ikke. Når magneten(e) da er aktivert blir hele

**HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND**

klemmen magnetisk og vil låses til et annet magnetisk materiale. Selve godset i klemmen må da være ferromagnetisk/magnetisk ledende for å kunne lede magnetismen videre. Disse klemmene er forholdsvis enkle i bruk men stiller da naturligvis en del forutsetninger til underlaget;

- Området må være rent, noe som da oftest i undervannsmiljøet er ensbetydende med tidkrevende rengjøring.
- Strukturen/materialet det skal klemmes fast til må også være av et magnetisk materiale.
- Krever normalt større flater for og oppnå tilstrekkelig holdekraft, dvs. mindre egnet for strukturdeler/rør med mindre radius.

Videre blir disse klemmene fort ganske tunge dersom det kreves en viss holdekraft, altså kan de være vanskelig håndterbare spesielt ved dykkerbaserte operasjoner.

En type magnet som er nyttet til dette formål er Neodymium magneter. Disse er regnet som meget sterke magneter og nyttes mye i blant annet festeanordninger under vann. Denne typen blir nevnt igjen i kapittel 9.

Elektromagnetiske klemmer fungerer i prinsippet lik ordinære magnetventiler som nyttes veldig mye i prosess- og industri generelt. Dette baseres på at en elektrisk leder vikles rundt en kjerne av ferromagnetisk materiale (oftest bløtt jern) og danner da en spole som vil indukere et magnetfelt i kjernen når spenning påkobles og strøm vandrer gjennom spolen. Frakoples spenningen til spolen vil da magnetismen i kjernen i all hovedsak forsvinne, og slik blir derav den elektromagnetiske klemmen kontrollert.



Figur 36 - R1004 FS verktøy låst til struktur vha magnetiske klemmer (7)

Vakuumbremser

Disse klemmene nyttes der en ikke har magnetisk materiale, eller ikke tilgang til det slik at magnet klemmer kan brukes. Dette kan eksempelvis være strukturer og rør tildekket med

**HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND**

maling, betong, etc. Vakuum klemmer krever også normalt en større flate for å oppnå tilstrekkelig holdekraft og stabilitet for verktøyet.



Figur 37 - Vakuumklemme brukt ifm FS ved R1004 verktøyet (7)

Sugekopper (ofte kalt ”Sticky-foot”) er en vel anvendt metode av dette prinsippet for fastholding under vann. Sugekoppen monteres mot flaten/strukturen mens vann pumpes ut av sugekoppen kontinuerlig (siden en sjelden har en kontaktflate helt fri for groe og andre ujevnheter). Det dannes da et undertrykk som, alt etter areal på sugekoppen, vil kunne tilsvare en ganske stor holdekraft.

Hybrid klemmer

Bli beskrevet av Blakemore (8) som klemmer som er basert på en kombinasjon av de nevnte forskjellige prinsippene, f.eks vakuum og elektromagnetisk klemme.

5.2.3. Bestemmelse av nødvendig holde- og klemme kraft til FS prosessen

For å kunne bestemme hvilke krefter det må tas høyde for både når det gjelder operasjon av ROV og design av egnet utstyr til bruk av FS under vann, må det først og fremst bestemmes ut ifra hvilket størrelsesomfang bolter eller emner som skal monteres/sammenføres. Det neste som må tas i betraktning for å bestemme disse kreftene er å finne ved hvilket trykk det spesifikke materialet vil plastifiseres og derav hvilket trykk det må påberegnes for å fullføre sammenføyingen. Det må uansett, som nevnt tidligere, måtte utføres tester på forhånd for og bestemme de relevante parametre for sveisingen, herunder nødvendig trykkraft.

Det finnes flere utarbeidede tester som angir en reduksjon av flytegrense til de forskjellige materialkvaliteter ved høyere temperaturer. Det tas her utgangspunkt i en slik test for å skape et noenlunde bilde på størrelsesordenen av krefter det kan forventes ved de forskjellige dimensjonene.

Som spesifikasjonene til HMS3000 [i underkapittel 2.2.2.] viser, var den opprinnelig designet for bruk av sylindriske emner med en diameter opp til 25mm. Det produseres her en oversikt, illustrert i figur 30, over hvor store trykkrefter det forventes ved FS av sylindriske emner i størrelsesordenen Ø10 – Ø30mm.

**HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND**

For å finne disse kreftene nyttes den generelle formelen for spenning:

$$\sigma_{fy,redusert} = \frac{F}{A} \quad (3)$$

Som her er angitt ved:

Antatt (spenning) reduserte flytegrense, $\sigma_{fy,redusert}$, angitt i MPa

Trykkraft, F, angitt i Newton ($\frac{kg \cdot m}{s^2}$)

Tverrsnittsareal til bolt/emne, angitt i mm^2

Dette brukes for og finne den omtrentlige trykkraft det påregnes å måtte bruke i sammenheng med planlegging av operasjon og design av en eventuell FS verktøyholder og klemmeanordning.

Trykkraften finnes da ved bruk av formelen:

$$F = \sigma_{fy,redusert} \cdot A \quad (3.1)$$

Ifølge tester utført av "University of Wollongong" (19) på reduksjon av flytegrensen ved høyere temperaturer, ser en av de fleste resultatene at en kan forvente en reduksjon på flytegrensen på omtrentlig 50%-60% ved en temperatur på omkring $600^{\circ}C$ - $700^{\circ}C$. Som nevnt tidligere blir dette bare et noenlunde estimat på hvilken reduksjon en kan forvente seg i en slik operasjon, da dette i en ideell situasjon krever testing av aktuelt material og utstyr for å bestemme de reelle og aktuelle resultater og krefter.

"University of Wollongong" har da testet to materialtyper; et høyfast stål ("high strength steel") og et ordinært konstruksjonsstål ("mild steel"), som angitt i tabellen nedenfor.

Table 3. Material Properties of High Strength Steel and Mild Steel at Normal Room Temperature

Steel	$f_{0.2,normal}$ (MPa)	$f_{0.5,normal}$ (MPa)	$f_{1.5,normal}$ (MPa)	$f_{2.0,normal}$ (MPa)	$f_{u,normal}$ (MPa)	E_{normal} (GPa)	ϵ_f (%)
High strength steel	789	790	813	823	847	223	7
Mild steel	401	409	445	465	552	220	30

Figur 38 - Materialelegenskaper til den angitte testen (19)

Det tas da utgangspunkt i konstruksjonsstålet ("mild steel") siden det her fokuseres hovedsakelig på konstruksjonsstål av klasse S235 og S355. Tabellen nedenfor viser da reduksjonsfaktorene de fant ved testing.

**HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND**

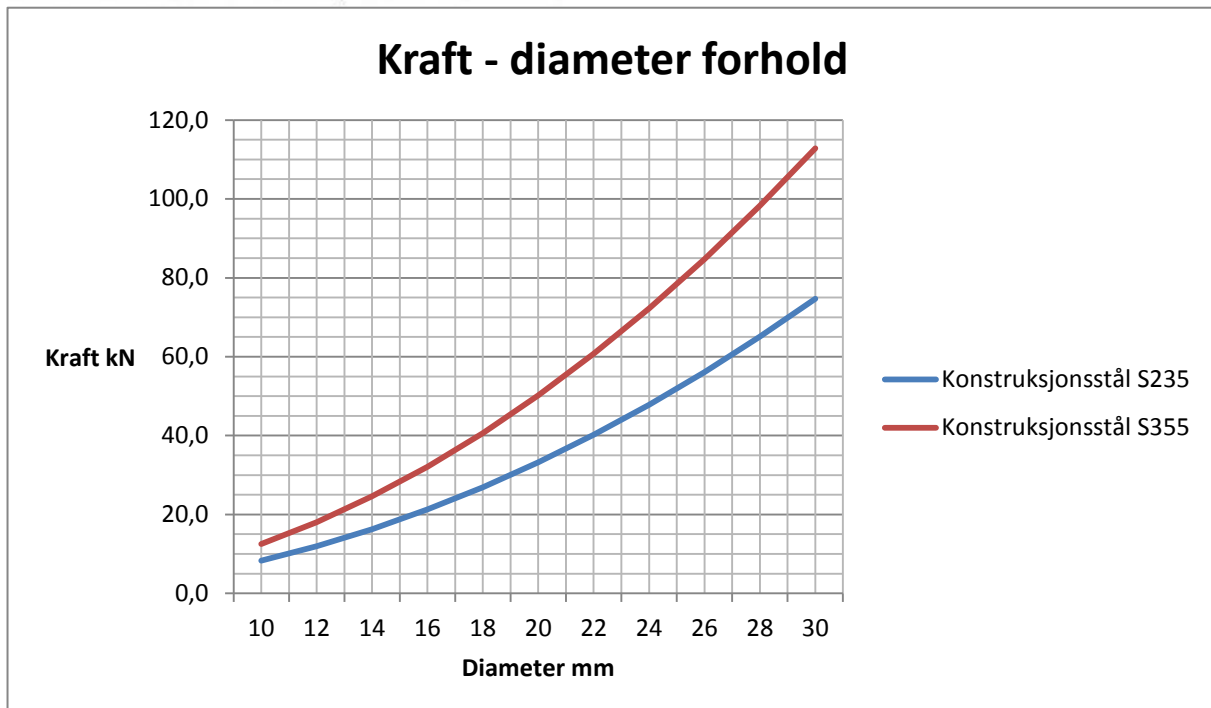
T (°C)	E_T/E_{normal}	$f_{0,2,T}/f_{0,2,\text{normal}}$	$f_{0,5,T}/f_{0,5,\text{normal}}$	$f_{1,5,T}/f_{1,5,\text{normal}}$	$f_{2,0,T}/f_{2,0,\text{normal}}$
22	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
60	1.00	0.96	0.95	0.96	0.96
120	0.95	0.95	0.94	0.96	0.96
150	0.96	0.94	0.95	0.96	0.96
180	0.98, 0.97*	0.92, 0.92*	0.92, 0.93*	0.95, 0.97*	0.95, 0.97*
240	1.03	0.90	0.95	1.05	1.05
300	0.95	0.95	0.99	1.11	1.11
360	0.93	0.86	0.89	1.03	1.04
410	0.93, 0.89*	0.90, 0.90*	0.94, 0.94*	1.04, 1.04*	1.03, 1.03*
460	0.89	0.81	0.85	0.93	0.93
540	0.90	0.78	0.82	0.87	0.86
600	0.82	0.71	0.74	0.76	0.74
660	0.77	0.56	0.58	0.57	0.55
720	0.65	0.35	0.36	0.32	0.31
830	0.48	0.15	0.15	0.14	0.13
940	0.27, 0.26*	0.09, 0.09*	0.09, 0.09*	0.09, 0.09*	0.09, 0.08*

Note: * = second test.

Figur 39 - Reduksjonsfaktor av flytegrensen til konstruksjonsstål (19)

Det tas da utgangspunkt i reduksjonsfaktorene for flytegrense ved 0,2% forlengning som normalt blir angitt som standard i materiallæreteorien. Dette selv om det antas at flytegrensen opptrer likt enten dette gjelder tøying eller komprimering. Tar en utgangspunkt i at rekrytallasjonsgrensen (ref.kap.3.2) ligger i området fra 660⁰C til 720⁰C, finner en da reduksjonsfaktorer på henholdsvis 0.56 og 0.35.

Tar da videre utgangspunkt i at en gjennomsnittlig vil få en reduksjon rundt 0.45, altså 45% av ordinær flytegrense (f_y) ved romtemperatur. For konstruksjonsstålene S235 og S355 har det blitt tatt utgangspunkt i standard nedre flytegrense for de stålkalitetene på henholdsvis 235MPa og 355MPa. Ved 45% reduksjon antar en da, ved operasjon av FS verktøyet, at en vil senke flytegrensene for S235 og S355 til henholdsvis 105.75MPa og 159.75MPa ($f_y \cdot 0.45$). Grafen nedenfor viser da spennet i trykkraftbehovet som anses som nødvendig i bruk av sylindriske emner med diameter fra 10mm til 30mm.



Figur 40: Kraft-Diameter forhold

Som en ser av grafen er det forholdsvis store krefter som må tas høyde for både vedrørende design av selve FS verktøyet og ikke minst anordninger for å holde sveisestyret stabilt og i ro ved det aktuelle sveisestedet.

Til sammenligning har DeepOcean's arbeids ROV "Supporter" oppgitt en "bollard pull" (ved overflaten) på 525 kg forover/akterover, ref.vedlegg 3. Altså ser en at det vanskelig lar seg gjøre å operere FS verktøyet uten en god klemmeanordning selv ved de minste boltedimensjoner. Dette tatt i betraktning at thrusterkreftene til ROV'en trengs for manøvrering av selve farkosten i tillegg til annet kraftbehov ved en eventuell operasjon.

6. Herdingsproblematikk

I sammenheng med friksjonssveising under vann finner en det meget relevant å belyse teorien rundt herding av stål siden dette anses som en av hovedfordelene med FS. Nettopp det å unngå herding eller martensittdannelse i materialet, som er bortimot umulig å unngå ved ordinær smeltesveising direkte i sjøvann, vil gjøre FS til den foretrukne sveisemetoden i undervannsmiljøet. Av denne grunn vil det også diskuteres litt rundt faseagrammer til stål for å beskrive selve herdeprosessen.

6.1. Fase- og TTT-diagram rundt herding av stål

Det vil her fokuseres på de materialkvalitetene en anser som mest typisk vil bli anvendt i forbindelse med undervanns friksjonssveising. En har da valgt å se på ordinært konstruksjonsstål, eksempelvis av kvalitet S235 og S355. Det vil naturligvis også være aktuelt å nytte andre materialkvaliteter, nettopp siden det er en av fordelene med FS at ulike materialer



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

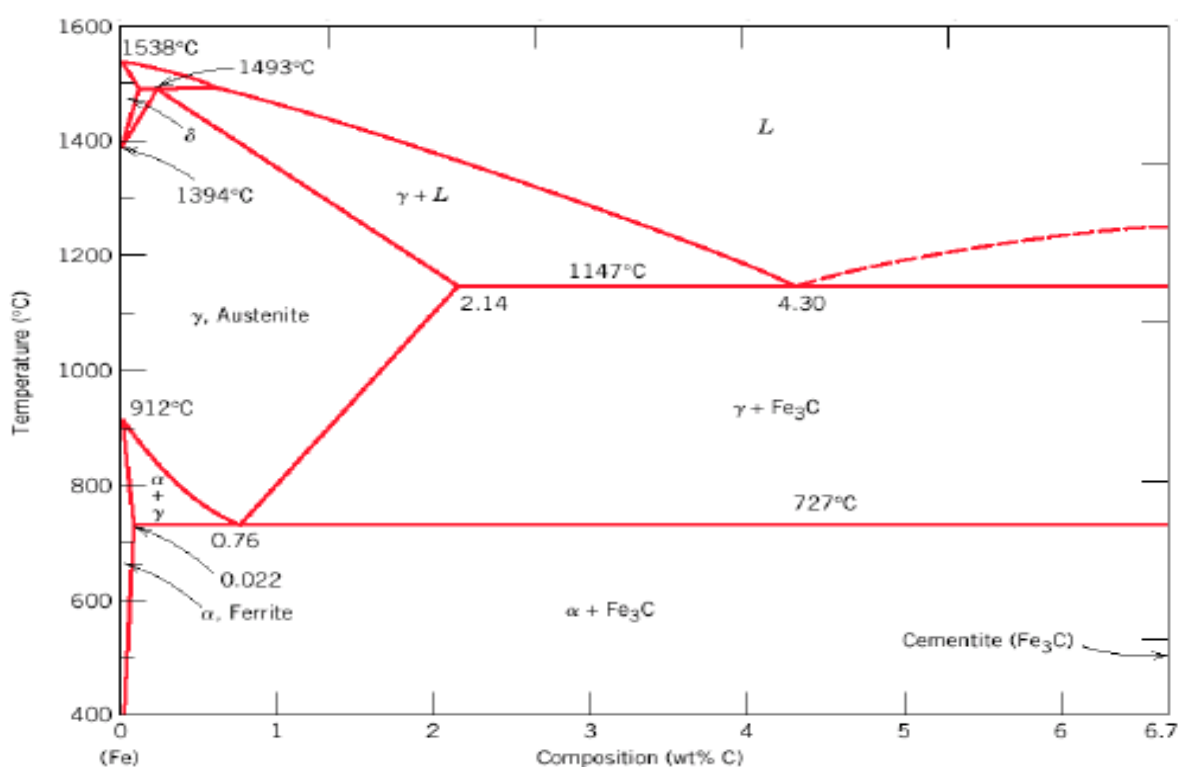
kan sammenføres, men i dette dokumentet er det hovedsakelig fokusert på de nevnte konstruksjonsstål.

Herding av stål

Herding av stål er noe som er blitt gjort, og gjøres til stadighet i dag i forskjellige varianter for å gjøre stålet mer egnet til spesielle oppgaver. I hovedsak blir det gjort med vitende vilje for å forbedre hardheten i stålet slik at det skal kunne tåle bedre de belastninger det måtte bli utsatt for. Denne herdeprosessen er da ofte en meget viktig prosess for å fremheve de ønskede egenskaper.

Derimot er det likevel ikke alltid like ønskelig at denne herdeprosessen skjer. Dette er kanskje oftest rundt sveising, og da spesielt smeltesveising, hvor denne prosessen kan være med på å skape til dels store problemer og bryksomhet ved å forringe det endelige produktets materialegenskaper. Nettopp av denne grunn er det meget viktig å utarbeide og ikke minst også å følge spesifikke sveiseprosedyrer for de aktuelle materialer og involverte sveisemetoder, for best å kunne takle disse utfordringene og styre varmeprosessen i materialet på en mest gunstig måte.

Stål slik en kjenner det er i hovedsak bestående av en legering av flere elementer, der hovedelementene er jern (ferritt – Fe) og karbon (C). Ordinære konstruksjonsstål av standard eksempelvis S235 og S355 inneholder normalt omtrentlig 0.2 % karbon. Figuren nedenfor viser fasediagrammet for jern-jern karbon fra henholdsvis 0 opp til 6,7% karboninnhold.



Figur 41- Jern-jern karbon diagram (6)



Av figuren ser en da at helt rent jern (til venstre langs figuren), ferritt/alfa ferritt, skifter krystallstruktur to ganger under oppvarming før det smelter. Ved rom temperatur har den stabile formen, ferritt, en kubisk romsentrert gitterstruktur (BCC). Ved 912°C omstruktureres ferritten da til austenittisk "gamma" jern, med en kubisk flatesentrert gitterstruktur (FCC). Denne austenitten forandres så til "beta" jern ved 1394°C , som da er en kubisk romsentrert (BCC) fase som ved 1538°C går over til flytende form og smelter.

Beveger en seg litt til høyre i figuren ser en at en har hovedsakelig en fase bestående av alfa jern og jern karbid/ementitt (Fe_3C) fra omtrent 0,022% opp til 6.7% C, og i temperaturområdet opp til ca. 727°C . Som nevnt tidligere har de fleste konstruksjonsstållegeringer et karboninnhold opp mot 0.2%. Materialsertifikatet fra Norsk Stål AS sin kvalitetsoversikt (20) viser at stål kvaliteten S235 kan maksimalt inneholde 0.17% karbon, mens S355 kan inneholde opp til 0.2% karbon iht. NS-EN 10025. Herav ser en at en stort sett har konstruksjonsstål bestående av en gitt blandingsfase av alfa ferritt og sementitt, alt etter karboninnhold og avhengig av andre legeringselementer.

Av fysiske egenskaper for å skille de forskjellige fasene nevnt over kan en definere de som følger:

Alfa Ferritt [α]: Er ifølge Callister (10) en relativt bløt struktur og er blant annet magnetisk under 768°C .

Austenitt: gamma jern [γ], er av kubisk flatesentrert gitterstruktur. Som en ser av skissen [i figur 16] av denne strukturen tidligere i oppgaven er denne krystallstrukturen noe romsligere og har derav bedre "plass" til typisk forurensninger og andre mindre oppløste stoff i strukturen. Dette i motsetning til den romsentrerte strukturen til ferritt. Typiske eksempler på slike mindre stoff er karbon. Det påpekes også av Callister (10) at metallet i denne fasen er umagnetisk.

Beta ferritt [β]: Denne fasen er i hovedsak lik alfa fasen av ferritten, bare at den eksisterer over et annet temperaturområde.

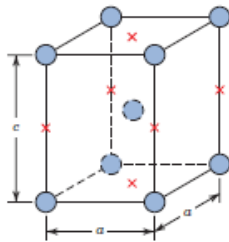
Sementitt [Fe_3C]: Fasen er generelt veldig hard og sprø. De mekaniske egenskapene ellers varierer avhengig av blandingsforholdet ferritt og sementitt.

Ved produksjon av stållegeringer og nedkjøling av stål fra austenitt området dannes forskjellige mikrostrukturer av legeringer, avhengig av temperaturforløp på nedkjølingen, karbon og legeringsinnhold. De mest vanlige mikrostrukturene er perlitt, bainitt og martensitt.

Skal en stållegering eksempelvis med karboninnhold rundt 0,5% herdes, ser en av jern-jern karbon diagrammet over at en må varme det opp til en temperatur av omtrentlig 800°C før legeringen begynner å omformes i strukturen til austenittisk struktur. Den blir da som sagt nærmest "romsligere" og karbonet som lå fastlåst i strukturen (BCC) kan etter hvert begynne å

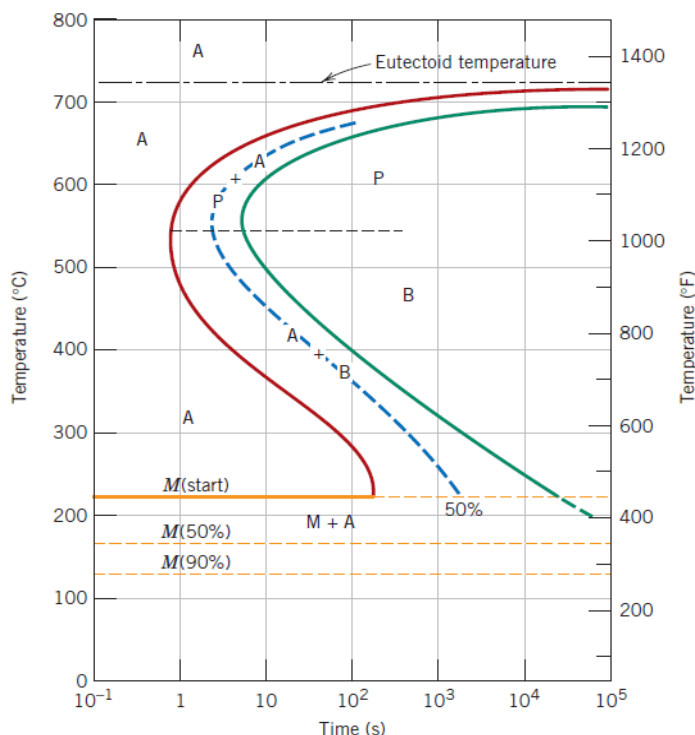
HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

bevege seg mer fritt i en løsere struktur(FCC). Dersom en nå bråkjøler det oppvarmede området/metallet meget hurtig, rekker ikke det løste karbonet å diffundere til sine respektive plasser i gitterstrukturen før strukturen igjen omvandles tilbake til den opprinnelige romsentrerte strukturen. Det blir da dannet en ny struktur kalt martensitt som av læreboka ”Materials science and engineering” (10) defineres som en romsentrert-tetragonal struktur.



Figur 42 - Martensittisk struktur (10)

Nedenfor vises på figuren temperatur- og tidsforløpet under selve herdeprosessen, eller nedkjølingen av legeringene, og hvor en omtrent får dannet de respektive mikrostrukturene.



Figur 43 - Tid temperatur transformasjon diagram (TTT) (10)

Av den grunn at martensittstrukturen ikke dannes ved diffusjon men dannes relativt momentant, er den ikke tegnet inn på lik linje som perlitt og bainitt med sine kurver. Starten av denne omdannelsen til martensitt defineres med en horisontal linje, M(start) , og de to neste linjene indikerer prosentandelen austenitt som omdannes til martensitt. Disse avhenger da selvfølgelig noe av karboninnhold og av andre legeringselementer i stålet, men må allikevel

**HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND**

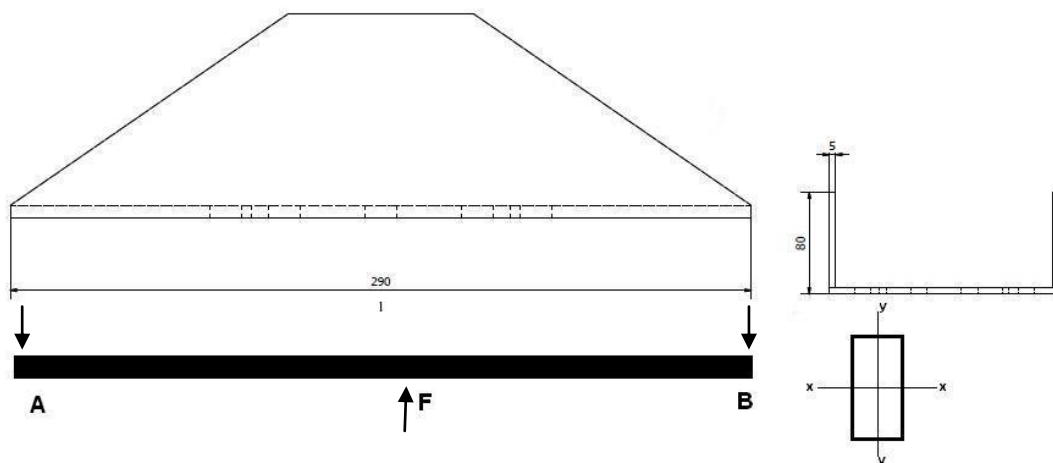
være ved ganske lav temperatur siden karbonet ikke må få tid til å diffundere inn i strukturen igjen.

Som en ser av teorien rundt herding og martensittdannelse kan en konkludere med at for at dersom en skal unngå dette, bør en unngå å varme opp stålet over den eutektoide temperaturen på ca. 727°C , for derav å unngå at legeringen forandrer fase til austenitt hvor karbonet blir "frigitt" fra strukturen. Holder en seg under denne grensen skal en da teoretisk ikke få noen martensittdannelse av legeringen selv om en i dette tilfellet varmer opp stålet i sjøvann og deretter tilnærmet bråkjøler det i det omkringliggende kalde sjøvannet.

7. Sammenligninger

Håndberegninger

De håndberegningene som ble gjort på motorfestet ble forenklet og forenklingen var slik at sideplaten ble behandlet som en bjelke.



$$A = B = \frac{F}{2} = \frac{15000\text{N}}{2} = \underline{7500\text{N}}$$

$$M_{\text{maks } b} = \frac{F \cdot l}{4} = \frac{15000\text{N} \cdot 0,29\text{m}}{4} = \underline{1087,5\text{Nm}}$$

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_x}$$

$$W_x = \frac{bh^2}{6} \Rightarrow \sigma_b = \frac{6M_b}{bh^2}$$

$$\sigma_b = \frac{6 \cdot 1087,5\text{Nm}}{(5 \cdot 10^{-3}\text{m}) \cdot (80 \cdot 10^{-3}\text{m})^2} = 203812500 \text{ N/m}^2 = \underline{\underline{203,81\text{MPa}}}$$

**HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND**

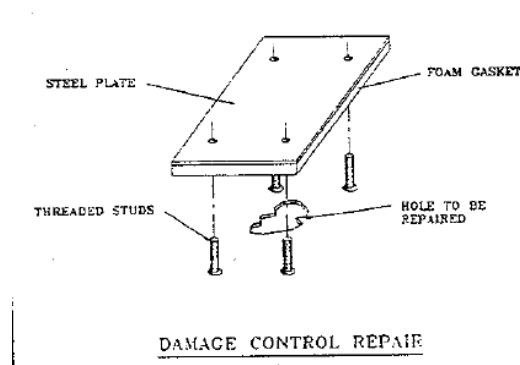
Slik det kommer frem av beregningene så kan vi dra sammenligninger som om at håndberegningen er mye lik de spenningene som Ansys 14.5 finner. I tillegg vil motorfeste bli avstivet når man monterer motoren med de ti boltene og derfor vil dette bli en konservativ beregning som gir godt resultat.

8. Aktuelle bruksområder

FS av bolter blir og vil kunne brukes til mange forskjellige oppgaver i undervannsmiljøet. Det vil herunder listes opp noen relevante bruksområder og typiske oppgaver hvor dette utstyret anses som meget anvendelig.

8.1. Tetting av skrogskader

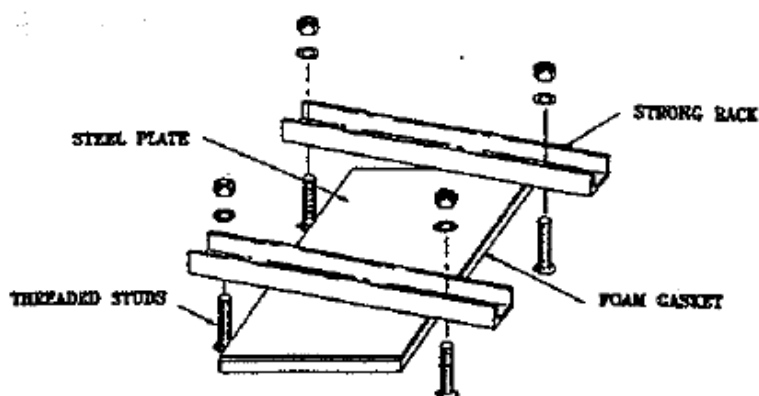
I teksten (4) av Blakemore defineres som eksempel to forskjellige teknikker for å tette og dekke over en lekkasje eller hull i skroget til et fartøy eller en struktur. Den første teknikken går ut på å sveise fast bolter i et forhåndsbestemt mønster over hullet som er tilpasset en prefabrikert plate som siden kan monteres over det skadede området med en pakning montert på undersiden av platen.



Figur 44 - Skisse av reparasjonsmetode (8)

**HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND**

Den andre teknikken er tenkt anvendt ved en mer usymmetrisk skade og hvor en ikke kan montere bolter ved like avstander eller parallelt over hverandre, altså hvor en må sveise boltene mer tilfeldig rundt hullet. En stålplate med pakning mellom plasseres over hullet og presses/terses ned ved hjelp av stålprofiler som skrues ned på tvers av platen. Ved eventuelt tømning av et skrog for væsker vil det hydrostatiske trykket hjelpe til å holde på plass platen og tette hullet. Av den grunn trenger det ikke stilles så store krav til boltestyrken/dimensjon da deres hovedfunksjon ved en bergingsoperasjon vil være å holde på plass platen over hullet.

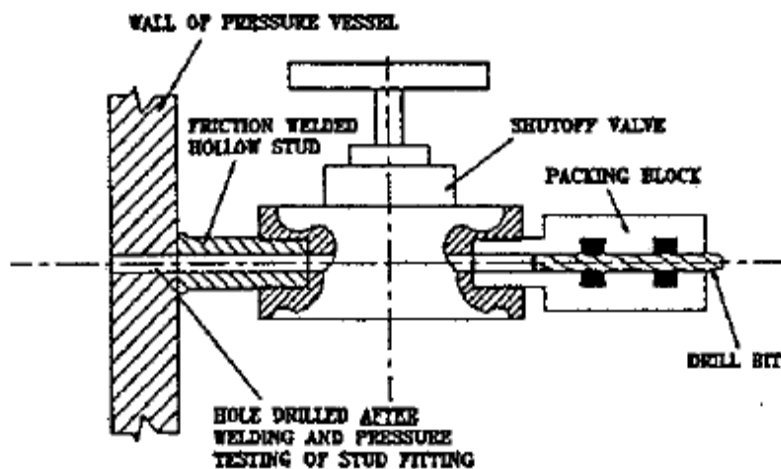
**DAMAGE CONTROL REPAIR (ALTERNATIVE METHOD)**

Figur 45 - Alternativ reparasjonsmetode (8)

- Rent umiddelbart kan en gjøre seg noen tanker rundt disse to teknikkene angående brukervennligheten opp mot en ROV. Det slår en nok at disse spesifikke metodene vil være mer aktuelle ved en dykkerbasert operasjon i grunnere farvann pga. de noe detaljerte oppgavene som montering av platen over boltene og spesielt med tanke på montering og tiltrekking av muttere. Allikevel viser dette at en vil kunne finne ganske mange anvendelsesområder for verktøyet, både i grunt vann ved dykkerbaserte operasjoner og på dypt vann ved hjelp av ROV.

8.2. "Hot-tapping"

Verktøyet er også tenkt nyttet til såkalt "hot-tapping". Dette går ut på å knytte seg til en rørledning mens den er "live", altså trykksatt og i operasjon. FS maskinen kan da montere hule emner/rør til det trykksatte røret, som siden kan påkobles for eksempel en ventil og en pakkboxanordning for deretter å borre seg inn gjennom det sveiste rørstykket inn i det trykksatte røret. Når en så har fått borret seg inn i hovedrøret kan borren trekkes ut ventilen og inn i pakkboxen hvorpå ventilen da stenges. Siden kan borren og pakkboxen fjernes og en har en avstengt tilslutning til det trykksatte røret.



HOT TAPPING OR PRESSURE CONNECTOR W/VALVE

Figur 46 - Prinsippskisse "hot-tapping" (8)

8.3. Rivningsarbeide ("decommissioning")

Røremner som brukt ved «hot-tapping» kan eksempelvis nyttes på lik linje som nevnt tidligere da for tilknytning til skrog og tanker på fartøy. Disse tilkoplingene kan nyttes til for eksempel tømning av olje, kjemikalier eller andre væsker i forbindelse med rivning og demontering av installasjoner til havs og under vann. Videre kan det og nyttes til fylling av luft i strukturer/tanker for heving/ballastering.

Større bolteemner kan og tenkes å kunne monteres for bruk til midlertidige løftepunkt, eller for tilkopling av flotasjons-elementer for å kunne løfte elementer opp til overflaten som siden vil bli løftet om bord i fartøy ved hjelp av krane.

8.4. Anode tilkopling

Utstyret er meget egnet for bruk ved tilkopling av anoder til rørledninger og strukturer under vann. Verktøyet vil da montere typisk bolter i størrelsesorden M10-M12, for deretter å koble til anodene, som kan ligge ved siden av rørledningen, via ledere. Dette er en oppgave som kan være vel så egnet for dykkerbaserte- men også ROV-baserte løsninger. Dette vil normalt sikre en bedre metallisk kontakt og derav bedre beskyttelse, samt enklere installasjon kontra for eksempel standard mekaniske klemmer for tilkobling av anoder.

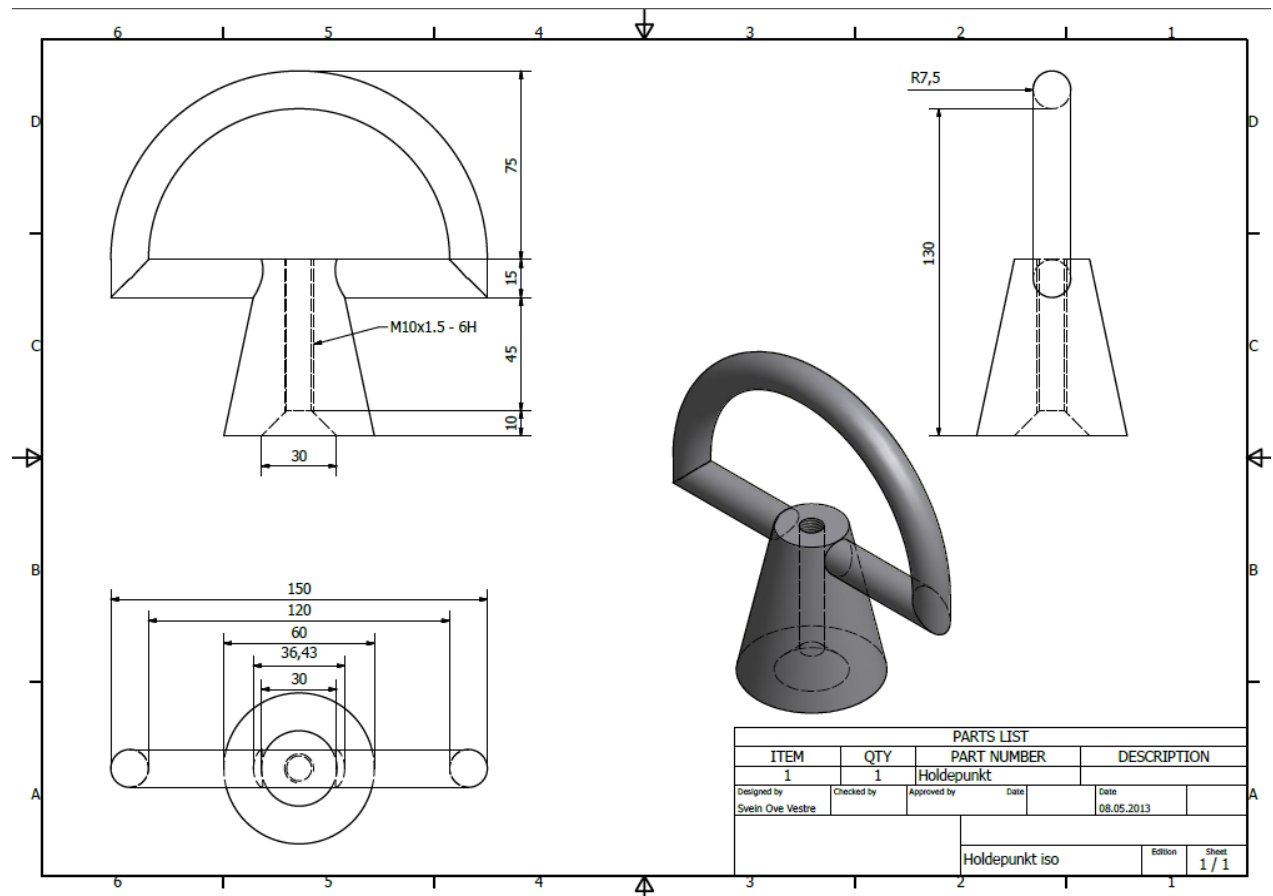


8.5. Strukturelle tilknytninger

Kan for eksempel nyttes til montering av instrumenter på strukturer og utstyr.

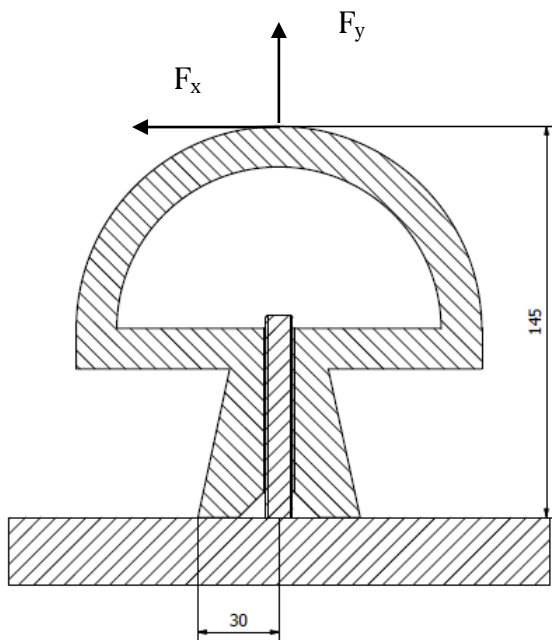
Installering av andre strukturelle tilknytninger som stag, midlertidige holde/festepunkter for ROV og annet verktøy som måtte kreve fastlåsing som f.eks i strømutsatte områder eller eksempelvis like under vannoverflaten hvor det er mye bevegelse i vannrommet.

8.6. Holdepunkt for ROV



Figur 47: Holdepunkt for ROV

Ved figuren under foreligger det beregninger for å vise hvilke krefter selve bolten blir utsatt for og hvilken strekkfasthet bolten må ha for å kunne tåle krefter på 3,5kN



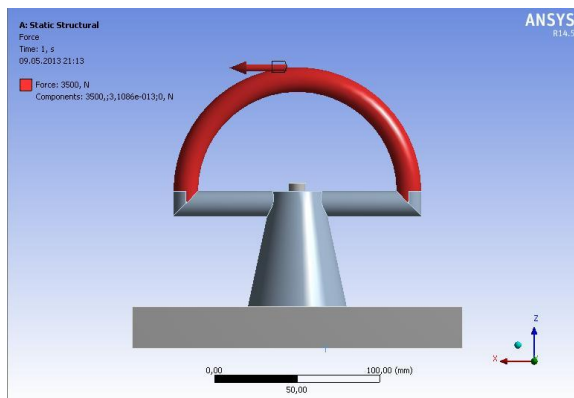
$$M = F_x \cdot L$$

$$F_{bolt} = \frac{F_x \cdot L}{x}$$

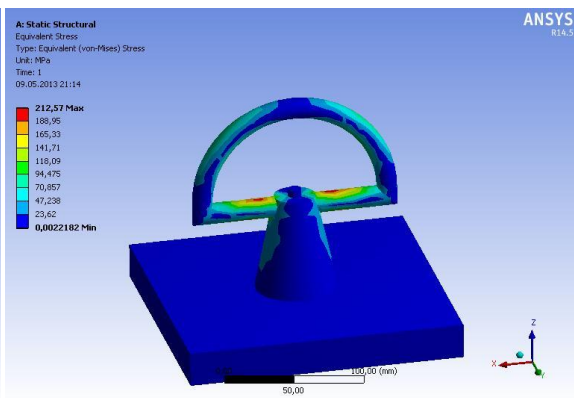
$$F_{bolt} = \frac{3500N \cdot 0,145m}{0,03m} = \underline{\underline{16917N}}$$

$$\sigma_{minimum} = \frac{F_{bolt}}{A} = \frac{16917N}{\frac{\pi \cdot (10mm)^2}{4}} = \underline{\underline{215,38 N/mm^2}}$$

$$n = \frac{f_y}{\sigma_n} = \frac{355}{215,38} = \underline{\underline{1,64}}$$



Figur 48: Grafisk fremstilling Ansys resultat



Figur 49: Holdepunkt ROV med kraftretning

Ansys beregningene som ble gjort viser at så sant det foreligger en ideell sammenføyning av bolt på plate vil dette kunne være et eksempel på holdepunkt for ROV. I vedlegget foreligger det rapport fra Ansys der holdepunktet er utsatt for 2,2kN og 3,5kN der det kommer frem at holdepunktet var tilstrekkelig dimensjonert for å motstå slike krefter.

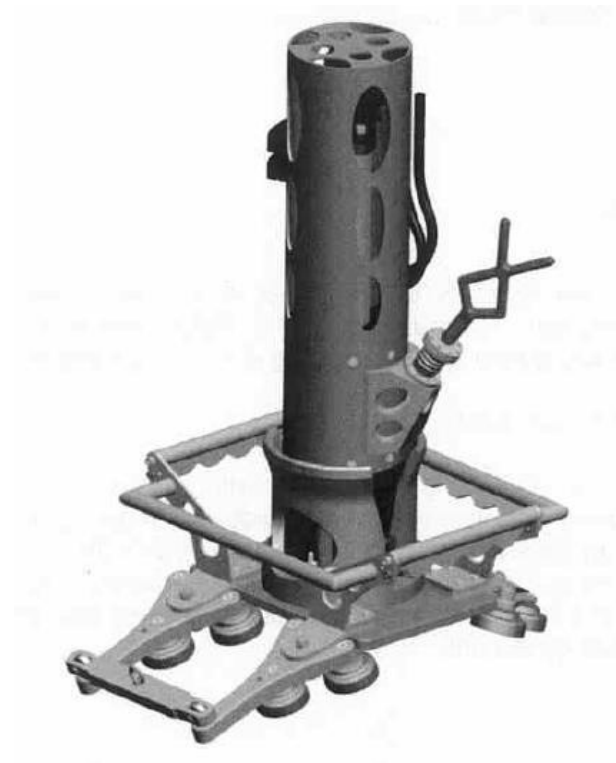
9. Diskusjon / Anbefalt videre arbeid

Dersom en skal vurdere en mer anvendt bruk av denne sveisemetoden under vann er det klart at en viktig faktor for bruksområde til utstyret er klemme/festeanordningen for selve FS verktøyet.

**HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND**

Ideelt sett burde en hatt en "universal" klemmeanordning for enklest og raskest mulig kunne nytte utstyret på forskjellige strukturer av forskjellige geometriske fasonger. Eventuelt kunne en hatt forskjellige klemmeanordninger med en låseanordning ("docking-stasjon") som er standard for FS verktøyet, slik at en enkelt kan nytte samme verktøy på forskjellige typer/dimensjoner klemmer, og derav øke bruksområdet betraktelig.

Etter samtale med DeepOcean fikk en forevist et verktøy de skal nytte i forbindelse med en rivningsjobb ("decommissioning"). Verktøyet er en undervanns boremaskin designet av Kystdesign (vedlegg..). Dette verktøyet blir da plassert i en låseanordning bestående av en fleksibel magnetklemme som fundament.



Figur 50: "Subsea Drilling Machine" og dens fleksible magnetklemme

Magnetklemmen som vist her består av 12 stk. Neodymium magneter, hver med en holdestyrke, i magnetisk retning, på 130 kg. Samlet teoretisk holdekraft for denne klemmen blir da:

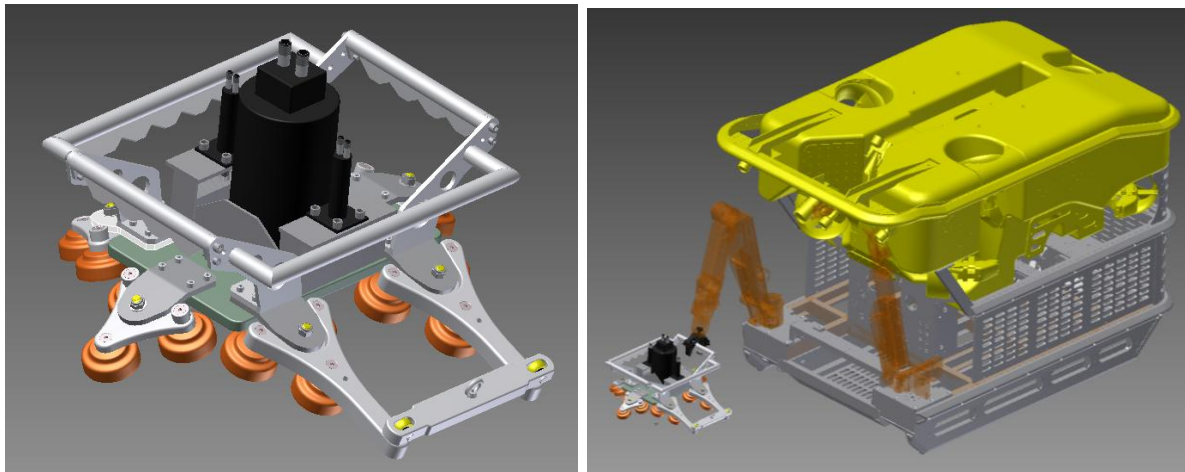
$$\text{Antall magneter} \cdot \text{holdestyrke per magnet} \cdot \text{tyngdeakselerasjon} \\ = \text{total holdekraft}$$

$$12 \cdot 130\text{kg} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 15303.6\text{N}$$

**HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND**

Altså vil en kunne oppnå en holdekraft på omtrentlig 15kN med denne klemmen fra Kystdesign. Ser vi dette i forhold til figur 38, kraft - diameter forhold, ser en at dette vil være litt knapt i forhold til å gjennomføre FS med selv de minste emnene M10 og M12.

Uansett anses denne typen fleksibel klemmeanordning som meget godt egnet for et FS verktøy da en lett kan hekte seg på større strukturer/flater og rør med større radius. Modifiseringer som vil trenge er i første omgang flere/større magneter for å kunne motstå trykkreftene i operasjonen alt etter hvilken dimensjon bolteemner som vil nyttes.



Figur 51: Prinsippskisse friksjonssveise utstyr i magnetklemme

Bilde over viser forslag til en modifisert klemme med økt antall magneter i forhold til den opprinnelige fra Kystdesign. Denne har 18 stk. magneter og får da følgende samlede holdekraft:

$$18 \cdot 130kg \cdot 9.81 \frac{m}{s^2} = 22955.4N$$

Dersom en nå igjen sammenligner med figur 38 vil en se at en med denne løsningen, med totalt ca.22.9kN holdekraft, bør kunne gjennomføre sammenføring av M12 i S355 kvalitet samt M14 i S235 kvalitet, med litt sikkerhetsmargin. Dersom en videre ønsker større dimensjoner må klemmeanordningen oppgraderes med eventuelt flere/sterkere magneter.

Videre arbeid i etterkant av utførte reelle tester vil kunne bevise hvilken kvalitet en oppnår på sammenføyningen direkte i sjøvann. Det vil da kunne tenkes at en eksempelvis må nytte en anordning for å skjerme sveiseområdet/begrense avkjølingen dersom det viser seg at området blir for sprøtt. Det kan da vurderes å se på løsninger med et isolerende lag av eksempelvis skum som Blakemore (8) nevner i sin avhandling rundt HMS3000, eventuelt andre konstruksjoner for å begrense bråkjøling og/eller kontakt med sjøvann.

Det kan og tenkes at det videre vil være ønskelig å se på en ”mateanordning”, eventuelt et magasin for lagring av nye bolteemner. Dette for å kunne optimalisere det kostbare tidsforbruket i en ROV-operasjon ved å spare tid mellom hvert sveisepunkt.



10. Konklusjon

Utgangspunktet for rapporten var å finne aktuelle friksjonssveiseverktøy for undervanns bruk som var på marked/i bransjen per i dag. I tillegg skulle rapporten gi et innblikk i parameterne og utstyret som kreves for metoden, samt komme frem til hvilken kvalitet denne kan produsere. Dette med tanke på om en vil kunne benytte metoden for montering av et holdepunkt for en ROV.

Det har blitt presentert friksjonssveiseverktøyet HMS 3000 som fremstår som den mest brukte og egnede til dette formålet. Alternativet er et pneumatisk verktøy som da anses mindre anvendelig grunnet de naturlige begrensninger med tanke på operasjon på dypt vann. Til tross for at man ikke har fullført de testene som man opprinnelig planla, har man fått frem viktig kunnskap om parameterne rundt friksjonssveising under vann. Det kommer ikke frem om kvaliteten er tilfredsstillende nok, men dette vil kunne komme frem ved gjennomføring av testene.

Oppgaven legger også vekt på herdingsproblematikken som man står ovenfor ved sveising under vann og man ser at dette er en utfordring som man vil kunne få viktige svar på gjennom labforsøk slik presentert i kapittel 4.

Det er presentert hvilke bruksområder eller arbeidsoppgaver som blir mulig med metoden og hvis man får tilfredsstillende testresultater. I tillegg ser man at det er store utfordringer i det videre arbeidet angående mothold/motkraft ved en sveiseprosess spesielt i stukefasen. Gjennom undersøkelsen av metoden ser forfatterne at selv med tilfredsstillende testresultater så vil dette være en problematikk som trengs å belyses og vil være viktig for metodens utberedelse som verktøy og metode i bransjen.

Referanser

Bibliografi

1. Deep Ocean group. ROVS. [Online].; 2013 [cited 2013 Mai 2. Available from: <http://www.deeptoceangroup.com/page/519/ROVS#9900524>.
2. Kystdesign. Installer Work Class ROV. [Online].; 2013 [cited 2013 Mai 2. Available from: <http://www.kystdesign.no/installer-work-class-rov>.
3. [Online].; 2013 [cited 2013 april 11. Available from: <http://worddomination.com/umbilicals.html>.
4. Subsea World News. Reef Subsea Launches Subsea Trench ROV Q1000 Jet Trencher (UK). [Online].; 2013 [cited 2013 April 11. Available from: <http://subseaworldnews.com/2012/10/05/reef-subsea-launches-subsea-trench-rov-q1000-jet-trencher-uk/>.
5. Store Norske Leksikon. Friksjonssveising. [Online]. [cited 2013 Mars. Available from: www.snl.no.
6. Ltd. TWI. Webområde for The Welding Institute. [Online]. [cited 2013 Februar. Available from: <http://www.twi.co.uk/>.
7. Proserv. Webområde for Proserv. [Online]. [cited 2013 Februar. Available from: <http://www.proserv.com/modules/xnews/article.php?storyid=862>.
8. R.Blakemore G. Underwater applications of state of the art portable friction stud welding equipment. International workshop on Underwaterwelding of marine structures. 1994 Desember: p. 454.
9. Grøndalen Ø. Materiallære: Fagbokforlaget; 2002.
10. William D.Callister DGR. Materials Science and Engineering: John Wiley & Sons,Inc.; 2011.
11. Chr.Lindaas J. Tilvirkning - kompendium: Høgskolen Stord/Haugesund.
12. Gudbrandsen JA. Sveiseteori. 2nd ed.: Yrkesopplæring ans; 1995.
13. Store Norske Leksikon. Spesifikk varmekapasitet. [Online]. [cited 2013 April 23. Available from: www.snl.no.
14. Meyer A. Friction Hydro Pillar Processing: Bonding Mechanism and Proper. GKSS-Forschungszentrum. 2003: p. 132.

**HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND**

15. Vill.V.I. Friction Welding of metals New York: American Welding Society; 1962.
16. Silva AAMd. An Investigation on the Structure/Property Relationships of Solid State Welding Porto Alegre: Universitetet Duisburg-Essen; 2006.
17. Duffin.F.D , Bahrani.A.S. Frictional behaviour of mild steel in friction welding. Wear. 1973 Mai: p. 53-74.
18. Ellis CRG. Continuous Drive Friction Welding of Mild Steel. Welding Journal. 1972 April: p. 183-197.
19. Solli TR. Ingeniørmatematikk 1 Kompendium: Høgskolen i Østfold; 2008.
20. Sathiya PANH. Effect of friction welding parameters on mechanical and metallurgical properties of ferritic stainless steel. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2007 2006: p. 1076-1082.
21. Akat HEM. Joining with friction welding of plastically deformed steel. Journal of Materials Processing Technology. 2003 March: p. 239-246.
22. Red Horse. Gjengestenger. [Online]. [cited 2013 april 30. Available from: <http://www.redhorse.dk/Dansk/produkter2010/Boltevarer/Gevindst%C3%A6nger/%5BM/Shop/PID/1148/ProductID/155%5D/Default.aspx>.
23. Store Norke Leksikon. Ferromagnetisme. [Online]. [cited 2013 April 24. Available from: <http://snl.no/ferromagnetisme>.
24. Inertia Friction Welding. [Online].; 2011 [cited 2013 Februar 2. Available from: <http://www.mtiwelding.com/equipment/1/Inertia-Friction-Welding>.
25. Infrared thermometer. [Online]. [cited 2013 April 30. Available from: <http://www.directindustry.com/industrial-manufacturer/infrared-thermometer-72987-2.html>.
26. E & E Process Instrumentation. Laser Tachometer. [Online]. [cited 2013 April 30. Available from: http://www.process-controls.com/EEProcess/Check/laser_tachometer_plt5000.html.
27. Crane partner AS. Startside. [Online]. [cited 2013 April 30. Available from: http://www.cranepartner.no/Landing/KD_manuell.asp.
28. ESAB Norge. Webområde for Esab - Sveising og skjæring Norge. [Online]. [cited 2013 Mars. Available from: www.esab.no.



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

29. Inc. MT. Webområde for Manufacturing Technology, Inc. [Online]. [cited 2013 Mars.
Available from: <http://www.mtiwelding.com/equipment/1/Inertia-Friction-Welding>.
30. Satyanarayana R. Dissimilar metal friction welding of austenitic–ferritic stainless steels.
Journal of Materials Processing Technology. 2004 May: p. 128-137.

Vedleggliste

- 1) Veiledning for testloggingsskjema for finneproposjonalitetsfaktoren til bolt
- 2) Testplan
- 3) Ansys rapport-Motorfeste
- 4) Ansys rapport-Motorfeste nr 2
- 5) Ansys rapport-Holde punkt
- 6) Ansys rapport- Holdepunkt nr 2
- 7) Kystdesign –Subsea drilling machine

Veiledning for testloggingsskjema

Dette skjemaet skal brukes for å finne proporsjonalitetsfaktoren $[k]$ til et metall for å kunne bruke Newtons avkjølingslov, slik at man kan finne ut tiden angitt oppvarmet metall bruker å tilpasse omgivelsene. Personen(e) som er ansvarlig for utførelsen av disse forsøkene skal bruke denne veiledningen så lå langt det lar seg gjøre. Dette styrker validiteten til forsøkene og vil gi en mulighet for å lokalisere feil før/ved forkasting av forsøk.

Kolonne nr.

Sjekk utstyr: Ansvarlig og i samarbeid med annet personell går igjennom utstyret før testingen. Til testen trenger man:

- Forsøksemner
 - Kar med vann og en keramikk blokk
 - Termometer/Temperaturindikator
 - Utstyr for å varme opp forsøksemmene
 - Utstyr for å måletemperaturen på forsøksemmene
 - Tang for håndtering av forsøksemmene
 - Skyvelære for måling av emnet
- 1) Mål emnet: Bruk skyvelære å ta målene(kun en desimal), og fyll inn i **kolonne 1**.
 - 2) Materialtype: Fyll inn i kolonnen hvilken materialtype som brukes. Her er det viktig å skrive inn enten en beskrivende tekst som ikke tillater misforståelser eller en vedleggshenvisning som gir en bedre oversikt over materialets kjemiske sammensetning.
 - 3) Overflate: Hvis emnet har en galvanisering eller rillet overflate så noteres dette i denne kolonne.
 - 4) Mediet: Fyll inn det avkjølingsmediet som skal representere omgivelsene som metallet skal tilpasses til.
 - 5) Temperatur mediet: Bruk Termometer/ Temperaturindikatoren og les av temperaturen til mediet.
 - 6) Temperatur bolt: Her fører man inn temperaturen som forsøksemmet
 - 7) Tid: Skriv inn tiden emne i hvert forsøk skal være i mediet. Hver testrunde skal ha samme tid og en testrunde består henholdsvis av 10,15 eller 20 forsøk.
 - 8) Akseptabel avvik temperatur: I denne kolonnen skal det gjøres en avgrensning. Der forkaster man resultater i et forsøk som er basert emnes temperatur som høyere eller lavere enn angitt temperatur i pkt. 5
 - 9) Akseptabel avvik tid: I denne kolonnen skal det gjøres en avgrensning. Der forkaster man resultater i et forsøk som er basert tiden brukt som kortere eller lengre enn angitt tid i pkt. 6
 - 10) Henvisninger: I denne kolonnen skal det dokument nr. eller navn til tilhørende spesifikk utstyrsliste og rapport føres inn.

Denne forsøksmetoden myter på nøyaktighet og valg av antall forsøk i testrunden velges deretter. Hvis man utfører 10 forsøk uten forkastede forsøk kan man anse testrunden som en suksess. Hvis man utfører 10 forsøk med forkastede forsøk kan man utvide testrunden til 15 forsøk og videre til 20 forsøk ved behov. Etter dette bør man se på testteknikk og revidering av pkt. 8 og pkt 9.

Etter fullført testrunde

⇒ Regn ut middelvei \bar{T} for temperatur og for tiden \bar{t}

$$\bar{t} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i$$
$$\bar{T} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i$$

⇒ Varians

$$\text{var}(t) = \sigma_t^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2$$

$$\text{var}(T) = \sigma_T^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (T_i - \bar{T})^2$$

⇒ Standardavvik

$$\sigma_T = \sqrt{\text{var}(T)}$$

$$\sigma_t = \sqrt{\text{var}(t)}$$

Bruk standardavviket til å anslå om det er validitet til verdiene funnet i testene. Hvis standard avviket er lavt kan man anse resultatet man har kommet frem til som korrekte. Siden det er et lavt standard avvik så taler forsøkene til at man er enige i de svarene man har kommet frem til. Hvis det er stor spredning så kan man si at det er uenighet om resultatet og man kan stille spørsmålsteget ved resultatets nøyaktighet.

Forsøk nr. 1

Testnavn:

Testdeltagere:

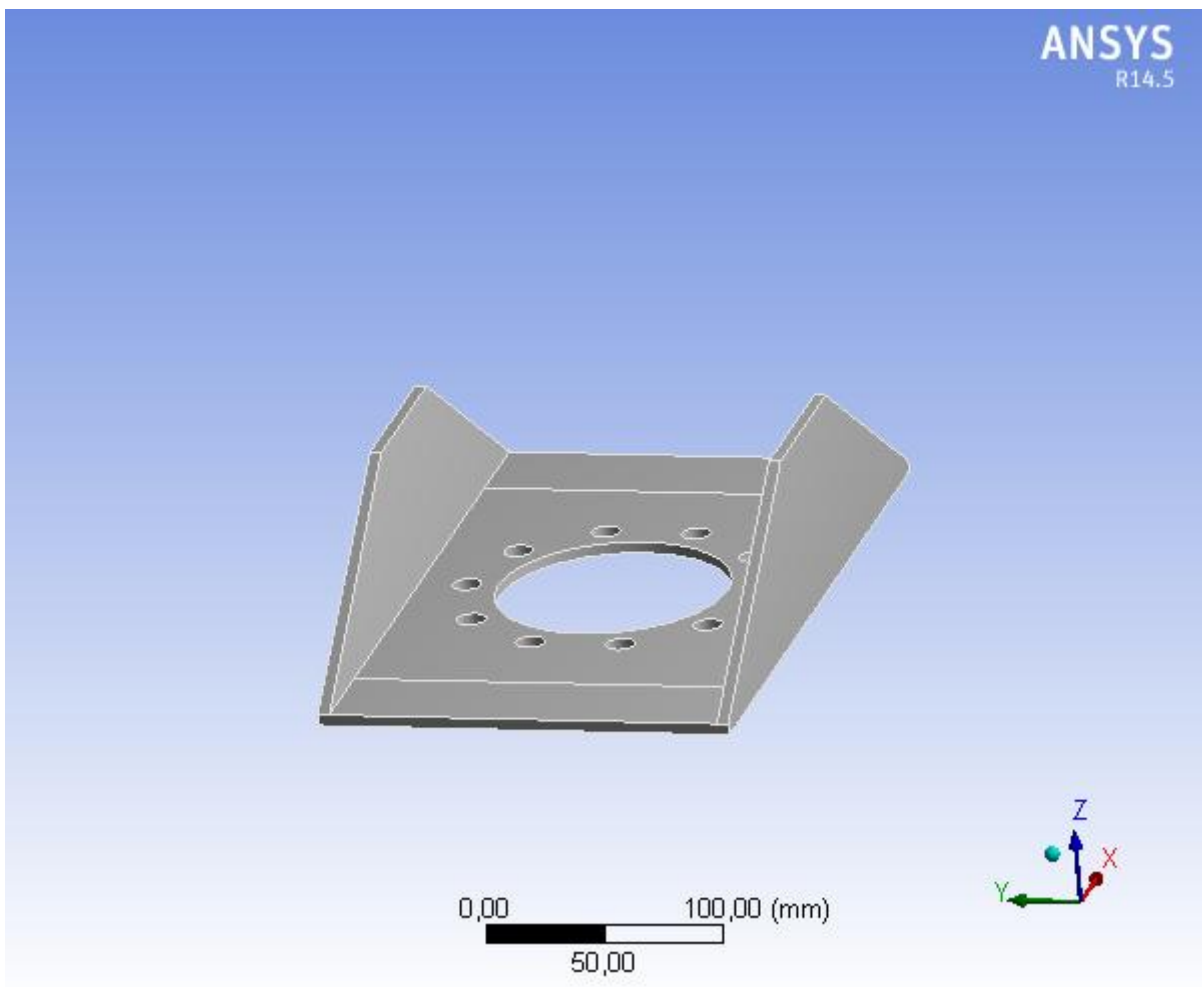
Forsøk snr.	Omdreinigs hastighet [rpm]	Påtrykk [kN]	Påtrykk tid [s]	Bort brenning [mm]	Stuke kraft?			
					[kN]			
XXXX-XXXX-XX-XX	1000	7,5	6	10				
	1000	8,0	5	10				
	1000	8,5	4	10				
	1250	7,5	6	10				
	1250	8	5	10				
	1250	8,5	4	10				
	1500	7,5	6	10				
	1500	8	5	10				
	1500	8,5	4	10				

Forsøk snr.	Omdreinigs hastighet [rpm]	Påtrykk [kN]	Påtrykk tid [s]	Bort brenning [mm]	Stuke kraft?			
					[kN]			
	...000	...	..	..	
	...000	...	..	..	
	...000	...	..	..	
	...000	...	..	..	
	...000	...	..	..	
	...000	...	..	.	



Project

First Saved	Wednesday, May 08, 2013
Last Saved	Wednesday, May 08, 2013
Product Version	14.5 Release
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No



Contents

- [Units](#)
- [Model \(A4\)](#)
 - [Geometry](#)
 - [Motor feste - AnsysSteinar.ipt](#)
 - [Coordinate Systems](#)
 - [Mesh](#)
 - [Static Structural \(A5\)](#)
 - [Analysis Settings](#)
 - [Loads](#)
 - [Solution \(A6\)](#)
 - [Solution Information](#)
 - [Results](#)
- [Material Data](#)
 - [Structural Steel](#)

Units

TABLE 1

Unit System	Metric (mm, kg, N, s, mV, mA) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

Model (A4)

Geometry

TABLE 2
Model (A4) > Geometry

Object Name	<i>Geometry</i>
State	Fully Defined
Definition	
Source	H:\Min Mappe\Hovedoppgave\el motor\af28-1000m03_asm\af28-1000m03_asm\Motor feste - AnsysSteinar.ipt
Type	Inventor
Length Unit	Centimeters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
Bounding Box	
Length X	290, mm
Length Y	180, mm
Length Z	80, mm
Properties	
Volume	3,5075e+005 mm ³
Mass	2,7534 kg
Scale Factor Value	1,
Statistics	
Bodies	1

Active Bodies	1
Nodes	14336
Elements	6709
Mesh Metric	None
Basic Geometry Options	
Solid Bodies	Yes
Surface Bodies	Yes
Line Bodies	No
Parameters	Yes
Parameter Key	DS
Attributes	No
Named Selections	No
Material Properties	No
Advanced Geometry Options	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	No
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	No
Attach File Via Temp File	Yes
Temporary Directory	C:\Documents and Settings\130924.HSH\Lokale innstillinger\Temp
Analysis Type	3-D
Mixed Import Resolution	None
Decompose Disjoint Geometry	Yes
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

TABLE 3
Model (A4) > Geometry > Parts

Object Name	<i>Motor feste - AnsysSteinar.ipt</i>
State	Meshed
Graphics Properties	
Visible	Yes
Transparency	1
Definition	
Suppressed	No
Stiffness Behavior	Flexible
Coordinate System	Default Coordinate System
Reference Temperature	By Environment
Material	
Assignment	Structural Steel
Nonlinear Effects	Yes
Thermal Strain Effects	Yes
Bounding Box	
Length X	290, mm
Length Y	180, mm
Length Z	80, mm
Properties	
Volume	3,5075e+005 mm ³
Mass	2,7534 kg
Centroid X	6,2055e-015 mm

Centroid Y	-2,7824e-003 mm
Centroid Z	15,083 mm
Moment of Inertia Ip1	14545 kg·mm ²
Moment of Inertia Ip2	19173 kg·mm ²
Moment of Inertia Ip3	31449 kg·mm ²
Statistics	
Nodes	14336
Elements	6709
Mesh Metric	None

Coordinate Systems

TABLE 4
Model (A4) > Coordinate Systems > Coordinate System

Object Name	<i>Global Coordinate System</i>
State	Fully Defined
Definition	
Type	Cartesian
Coordinate System ID	0,
Origin	
Origin X	0, mm
Origin Y	0, mm
Origin Z	0, mm
Directional Vectors	
X Axis Data	[1, 0, 0,]
Y Axis Data	[0, 1, 0,]
Z Axis Data	[0, 0, 1,]

Mesh

TABLE 5
Model (A4) > Mesh

Object Name	<i>Mesh</i>
State	Solved
Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Relevance	0
Sizing	
Use Advanced Size Function	Off
Relevance Center	Fine
Element Size	Default
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Minimum Edge Length	1,6429e-002 mm
Inflation	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0,272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1,2

Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
Patch Conforming Options	
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Advanced	
Shape Checking	Standard Mechanical
Element Midside Nodes	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Number of Retries	Default (4)
Extra Retries For Assembly	Yes
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Mesh Morphing	Disabled
Defeaturing	
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
Automatic Mesh Based Defeaturing	On
Defeaturing Tolerance	Default
Statistics	
Nodes	14336
Elements	6709
Mesh Metric	None

Static Structural (A5)

TABLE 6
Model (A4) > Analysis

Object Name	<i>Static Structural (A5)</i>
State	Solved
Definition	
Physics Type	Structural
Analysis Type	Static Structural
Solver Target	Mechanical APDL
Options	
Environment Temperature	22, °C
Generate Input Only	No

TABLE 7
Model (A4) > Static Structural (A5) > Analysis Settings

Object Name	<i>Analysis Settings</i>
State	Fully Defined
Step Controls	
Number Of Steps	1,
Current Step Number	1,
Step End Time	1, s
Auto Time Stepping	Program Controlled
Solver Controls	
Solver Type	Program Controlled
Weak Springs	Program Controlled
Inertia Relief	Off

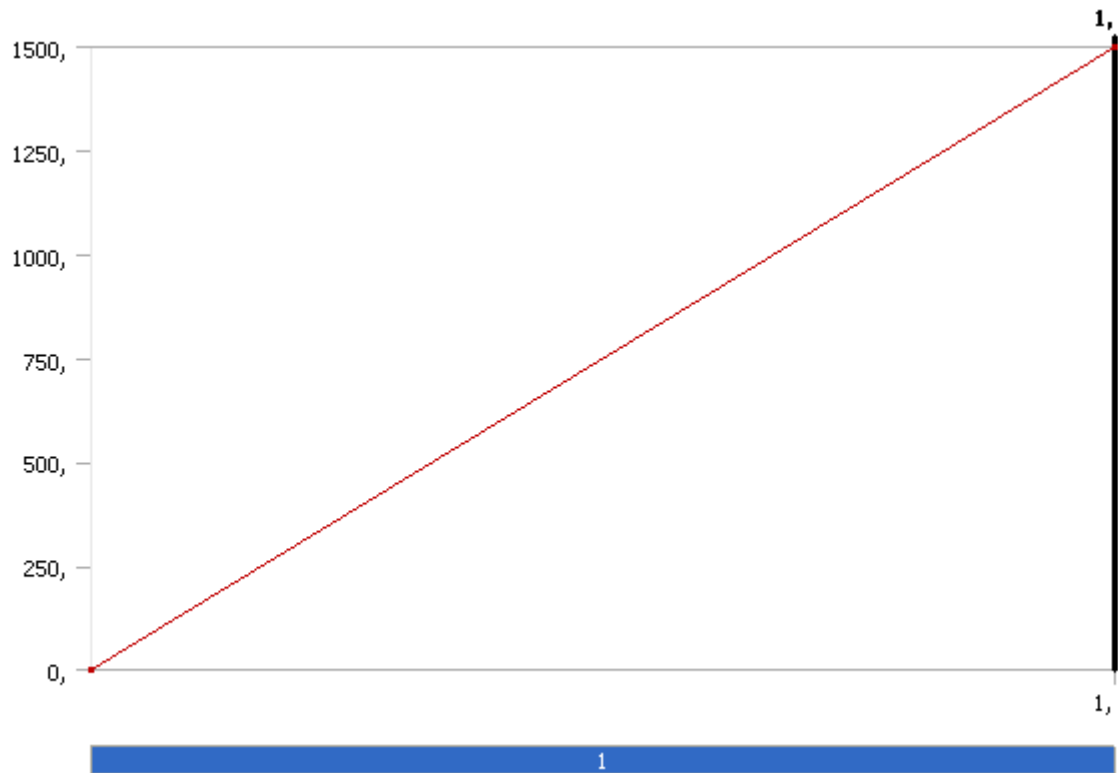
Restart Controls	
Generate Restart Points	Program Controlled
Retain Files After Full Solve	No
Nonlinear Controls	
Force Convergence	Program Controlled
Moment Convergence	Program Controlled
Displacement Convergence	Program Controlled
Rotation Convergence	Program Controlled
Line Search	Program Controlled
Output Controls	
Stress	Yes
Strain	Yes
Nodal Forces	No
Contact Miscellaneous	No
General Miscellaneous	No
Store Results At	All Time Points
Analysis Data Management	
Solver Files Directory	C:\Documents and Settings\130924.HSH\Lokale innstillinger\Temp\WB_PCHSTU088_3800_2\unsaved_project_files\dp0\SYSMECH\
Future Analysis	None
Scratch Solver Files Directory	
Save MAPDL db	No
Delete Unneeded Files	Yes
Nonlinear Solution	No
Solver Units	Active System
Solver Unit System	nmm

TABLE 8
Model (A4) > Static Structural (A5) > Loads

Object Name	<i>Force</i>	<i>Frictionless Support</i>
State	Fully Defined	
Scope		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	10 Faces	2 Faces
Definition		
Type	Force	Frictionless Support
Define By	Vector	
Magnitude	1500, N (ramped)	

Direction	Defined	
Suppressed		No

FIGURE 1
Model (A4) > Static Structural (A5) > Force



Solution (A6)

TABLE 9
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution

Object Name	<i>Solution (A6)</i>
State	Solved
Adaptive Mesh Refinement	
Max Refinement Loops	1,
Refinement Depth	2,
Information	
Status	Done

TABLE 10
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Solution Information

Object Name	<i>Solution Information</i>
State	Solved
Solution Information	
Solution Output	Solver Output
Newton-Raphson Residuals	0
Update Interval	2,5 s
Display Points	All
FE Connection Visibility	
Activate Visibility	Yes
Display	All FE Connectors

Draw Connections Attached To	All Nodes
Line Color	Connection Type
Visible on Results	No
Line Thickness	Single
Display Type	Lines

TABLE 11
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Results

Object Name	<i>Equivalent Stress</i>	<i>Equivalent Elastic Strain</i>	<i>Total Deformation</i>
State	Solved		
Scope			
Scoping Method	Geometry Selection		
Geometry	All Bodies		
Definition			
Type	Equivalent (von-Mises) Stress	Equivalent Elastic Strain	Total Deformation
By	Time		
Display Time	Last		
Calculate Time History	Yes		
Identifier			
Suppressed	No		
Integration Point Results			
Display Option	Averaged		
Results			
Minimum	1,1298e-002 MPa	5,7295e-008 mm/mm	8,5473e-006 mm
Maximum	33,008 MPa	1,6787e-004 mm/mm	8,2864e-002 mm
Information			
Time	1, s		
Load Step	1		
Substep	1		
Iteration Number	1		

Material Data

Structural Steel

TABLE 12
Structural Steel > Constants

Density	7,85e-006 kg mm ⁻³
Coefficient of Thermal Expansion	1,2e-005 C ⁻¹
Specific Heat	4,34e+005 mJ kg ⁻¹ C ⁻¹
Thermal Conductivity	6,05e-002 W mm ⁻¹ C ⁻¹
Resistivity	1,7e-004 ohm mm

TABLE 13
Structural Steel > Compressive Ultimate Strength

Compressive Ultimate Strength MPa	0,
-----------------------------------	----

TABLE 14
Structural Steel > Compressive Yield Strength

Compressive Yield Strength MPa	250,
--------------------------------	------

TABLE 15
Structural Steel > Tensile Yield Strength

Tensile Yield Strength MPa
250,

TABLE 16
Structural Steel > Tensile Ultimate Strength

Tensile Ultimate Strength MPa
460,

TABLE 17
Structural Steel > Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion

Reference Temperature C
22,

TABLE 18
Structural Steel > Alternating Stress Mean Stress

Alternating Stress MPa	Cycles	Mean Stress MPa
3999,	10,	0,
2827,	20,	0,
1896,	50,	0,
1413,	100,	0,
1069,	200,	0,
441,	2000,	0,
262,	10000	0,
214,	20000	0,
138,	1,e+005	0,
114,	2,e+005	0,
86,2	1,e+006	0,

TABLE 19
Structural Steel > Strain-Life Parameters

Strength Coefficient MPa	Strength Exponent	Ductility Coefficient	Ductility Exponent	Cyclic Strength Coefficient MPa	Cyclic Strain Hardening Exponent
920,	-0,106	0,213	-0,47	1000,	0,2

TABLE 20
Structural Steel > Isotropic Elasticity

Temperature C	Young's Modulus MPa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus MPa	Shear Modulus MPa
	2,e+005	0,3	1,6667e+005	76923

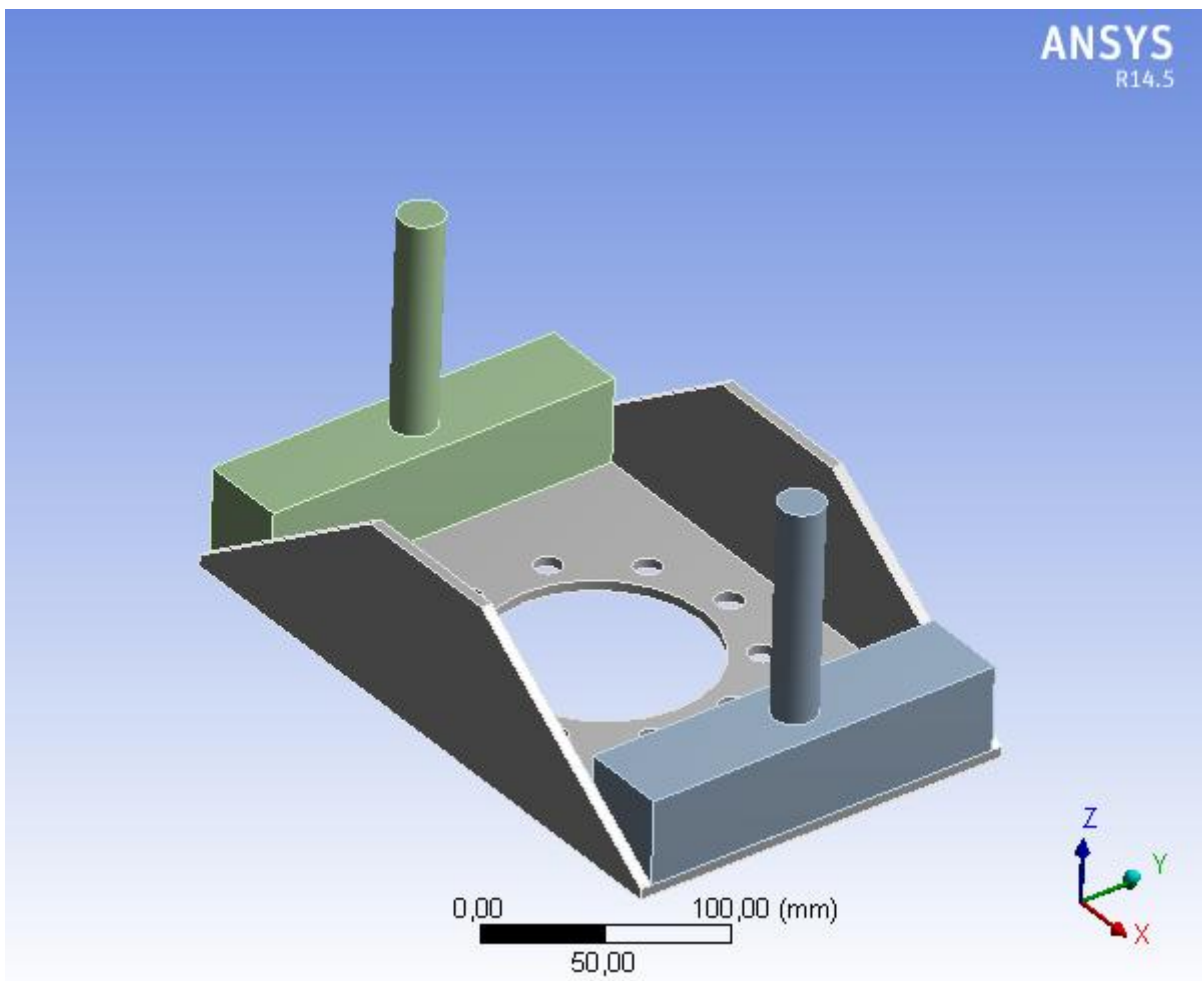
TABLE 21
Structural Steel > Isotropic Relative Permeability

Relative Permeability
10000



Project

First Saved	Wednesday, May 08, 2013
Last Saved	Wednesday, May 08, 2013
Product Version	14.5 Release
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No



Contents

- [Units](#)
- [Model \(A4\)](#)
 - [Geometry](#)
 - [Parts](#)
 - [Coordinate Systems](#)
 - [Connections](#)
 - [Contacts](#)
 - [Contact Regions](#)
 - [Mesh](#)
 - [Static Structural \(A5\)](#)
 - [Analysis Settings](#)
 - [Loads](#)
 - [Solution \(A6\)](#)
 - [Solution Information](#)
 - [Results](#)
- [Material Data](#)
 - [Structural Steel](#)

Units

TABLE 1

Unit System	Metric (mm, kg, N, s, mV, mA) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

Model (A4)

Geometry

TABLE 2
Model (A4) > Geometry

Object Name	<i>Geometry</i>	
State	Fully Defined	
Definition		
Source	H:\Min Mappe\Hovedoppgave\Motorfeste med stempel.iam	
Type	Inventor	
Length Unit	Centimeters	
Element Control	Program Controlled	
Display Style	Body Color	
Bounding Box		
Length X	290, mm	
Length Y	180, mm	
Length Z	145, mm	
Properties		
Volume	9,5759e+005 mm ³	
Mass	7,517 kg	
Scale Factor Value	1,	

Statistics	
Bodies	3
Active Bodies	3
Nodes	5087
Elements	2242
Mesh Metric	None
Basic Geometry Options	
Solid Bodies	Yes
Surface Bodies	Yes
Line Bodies	No
Parameters	Yes
Parameter Key	DS
Attributes	No
Named Selections	No
Material Properties	No
Advanced Geometry Options	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	No
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	No
Attach File Via Temp File	Yes
Temporary Directory	C:\Documents and Settings\130924.HSH\Lokale innstillinger\Temp
Analysis Type	3-D
Mixed Import Resolution	None
Decompose Disjoint Geometry	Yes
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

TABLE 3
Model (A4) > Geometry > Parts

Object Name	<i>Motor feste - AnsysSteinar:1</i>	<i>Stempel:1</i>	<i>Stempel:2</i>
State	Meshed		
Graphics Properties			
Visible	Yes		
Transparency	1		
Definition			
Suppressed	No		
Stiffness Behavior	Flexible		
Coordinate System	Default Coordinate System		
Reference Temperature	By Environment		
Material			
Assignment	Structural Steel		
Nonlinear Effects	Yes		
Thermal Strain Effects	Yes		
Bounding Box			
Length X	290, mm	40, mm	
Length Y	180, mm	170, mm	
Length Z	80, mm	140, mm	
Properties			
Volume	3,5075e+005 mm ³	3,0342e+005 mm ³	
Mass	2,7534 kg	2,3818 kg	

Centroid X	6,2118e-015 mm	125, mm	-125, mm
Centroid Y	-2,7852e-003 mm	1,4177e-008 mm	-1,4177e-008 mm
Centroid Z	15,096 mm	32,151 mm	
Moment of Inertia Ip1	14540 kg·mm ²	6704,3 kg·mm ²	
Moment of Inertia Ip2	19168 kg·mm ²	1846,7 kg·mm ²	
Moment of Inertia Ip3	31440 kg·mm ²	5438,9 kg·mm ²	
Statistics			
Nodes	3529	771	787
Elements	1529	351	362
Mesh Metric	None		

Coordinate Systems

TABLE 4
Model (A4) > Coordinate Systems > Coordinate System

Object Name	<i>Global Coordinate System</i>
State	Fully Defined
Definition	
Type	Cartesian
Coordinate System ID	0,
Origin	
Origin X	0, mm
Origin Y	0, mm
Origin Z	0, mm
Directional Vectors	
X Axis Data	[1, 0, 0,]
Y Axis Data	[0, 1, 0,]
Z Axis Data	[0, 0, 1,]

Connections

TABLE 5
Model (A4) > Connections

Object Name	<i>Connections</i>
State	Fully Defined
Auto Detection	
Generate Automatic Connection On Refresh	Yes
Transparency	
Enabled	Yes

TABLE 6
Model (A4) > Connections > Contacts

Object Name	<i>Contacts</i>
State	Fully Defined
Definition	
Connection Type	Contact
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	All Bodies
Auto Detection	
Tolerance Type	Slider
Tolerance Slider	0,

Tolerance Value	0,92711 mm
Use Range	No
Face/Face	Yes
Face/Edge	No
Priority	Include All
Group By	Bodies
Search Across	Bodies

TABLE 7
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	<i>Contact Region</i>	<i>Contact Region 2</i>
State	Fully Defined	
Scope		
Scoping Method	Geometry Selection	
Contact	3 Faces	
Target	3 Faces	
Contact Bodies	Motor feste - AnsysSteinar:1	
Target Bodies	Stempel:1	Stempel:2
Definition		
Type	Bonded	
Scope Mode	Automatic	
Behavior	Program Controlled	
Trim Contact	Program Controlled	
Trim Tolerance	0,92711 mm	
Suppressed	No	
Advanced		
Formulation	Program Controlled	
Penetration Tolerance	Program Controlled	
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled	
Update Stiffness	Program Controlled	
Pinball Region	Program Controlled	

Mesh

TABLE 8
Model (A4) > Mesh

Object Name	<i>Mesh</i>
State	Solved
Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Relevance	0
Sizing	
Use Advanced Size Function	Off
Relevance Center	Coarse
Element Size	Default
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Minimum Edge Length	1,6429e-002 mm
Inflation	
Use Automatic Inflation	None

Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0,272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1,2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
Patch Conforming Options	
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Advanced	
Shape Checking	Standard Mechanical
Element Midside Nodes	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Number of Retries	Default (4)
Extra Retries For Assembly	Yes
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Mesh Morphing	Disabled
Defeaturing	
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
Automatic Mesh Based Defeaturing	On
Defeaturing Tolerance	Default
Statistics	
Nodes	5087
Elements	2242
Mesh Metric	None

Static Structural (A5)

TABLE 9
Model (A4) > Analysis

Object Name	<i>Static Structural (A5)</i>
State	Solved
Definition	
Physics Type	Structural
Analysis Type	Static Structural
Solver Target	Mechanical APDL
Options	
Environment Temperature	22, °C
Generate Input Only	No

TABLE 10
Model (A4) > Static Structural (A5) > Analysis Settings

Object Name	<i>Analysis Settings</i>
State	Fully Defined
Step Controls	
Number Of Steps	1,
Current Step Number	1,
Step End Time	1, s
Auto Time Stepping	Program Controlled

Solver Controls	
Solver Type	Program Controlled
Weak Springs	Program Controlled
Inertia Relief	Off
Restart Controls	
Generate Restart Points	Program Controlled
Retain Files After Full Solve	No
Nonlinear Controls	
Force Convergence	Program Controlled
Moment Convergence	Program Controlled
Displacement Convergence	Program Controlled
Rotation Convergence	Program Controlled
Line Search	Program Controlled
Output Controls	
Stress	Yes
Strain	Yes
Nodal Forces	No
Contact Miscellaneous	No
General Miscellaneous	No
Store Results At	All Time Points
Analysis Data Management	
Solver Files Directory	C:\Documents and Settings\130924.HSH\Lokale innstillinger\Temp\WB_PCHSTU088_620_2\unsaved_project_files\dp0\SYS\MECH\
Future Analysis	None
Scratch Solver Files Directory	
Save MAPDL db	No
Delete Unneeded Files	Yes
Nonlinear Solution	No
Solver Units	Active System
Solver Unit System	nmm

TABLE 11
Model (A4) > Static Structural (A5) > Loads

Object Name	<i>Force</i>	<i>Force 2</i>	<i>Frictionless Support</i>
State	Fully Defined		
Scope			
Scoping Method	Geometry Selection		
Geometry	1 Face	10 Faces	

Definition		
Type	Force	Frictionless Support
Define By	Vector	
Magnitude	7500, N (ramped)	
Direction	Defined	
Suppressed	No	

FIGURE 1
Model (A4) > Static Structural (A5) > Force

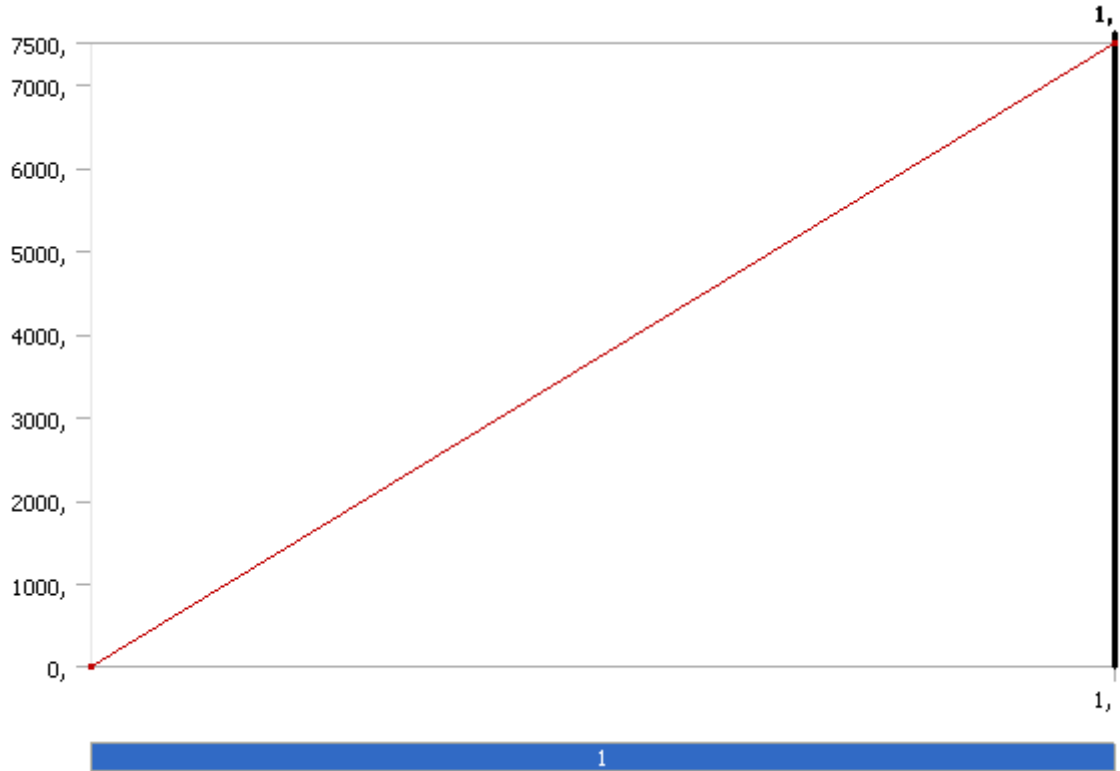
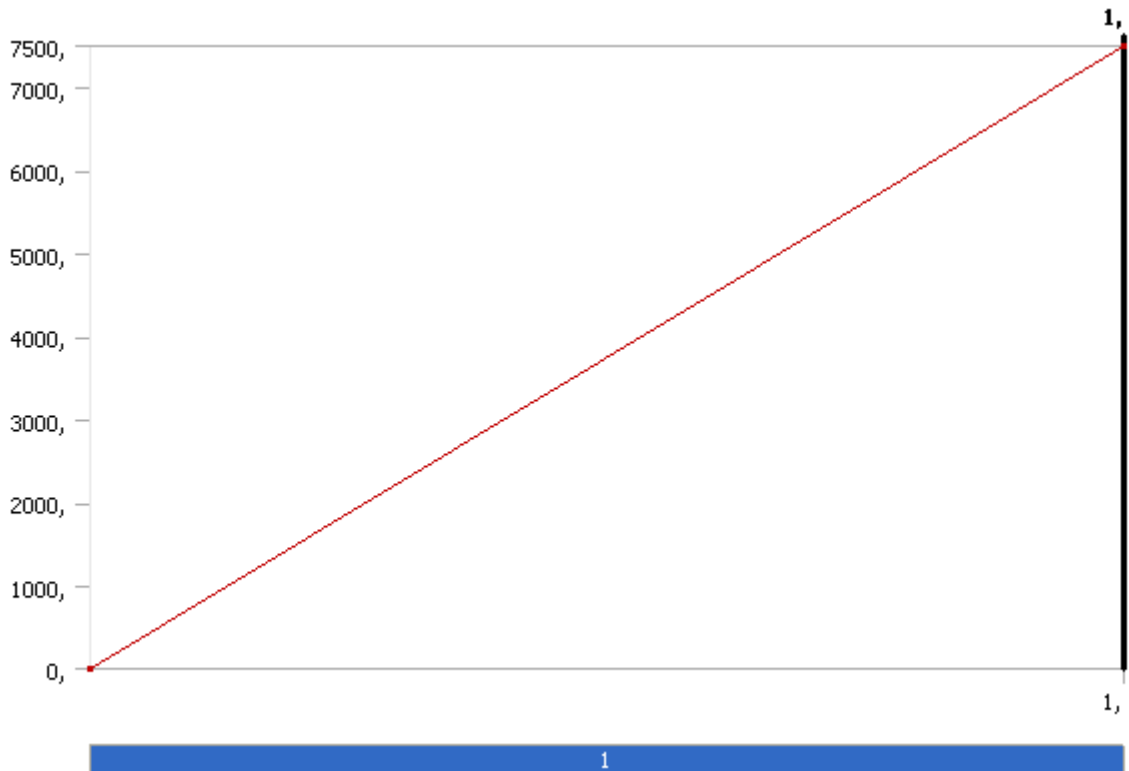


FIGURE 2
Model (A4) > Static Structural (A5) > Force 2



Solution (A6)

TABLE 12
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution

Object Name	<i>Solution (A6)</i>
State	Solved
Adaptive Mesh Refinement	
Max Refinement Loops	1,
Refinement Depth	2,
Information	
Status	Done

TABLE 13
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Solution Information

Object Name	<i>Solution Information</i>
State	Solved
Solution Information	
Solution Output	Solver Output
Newton-Raphson Residuals	0
Update Interval	2,5 s
Display Points	All
FE Connection Visibility	
Activate Visibility	Yes
Display	All FE Connectors
Draw Connections Attached To	All Nodes
Line Color	Connection Type
Visible on Results	No
Line Thickness	Single
Display Type	Lines

TABLE 14
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Results

Object Name	Total Deformation	Equivalent Stress	Equivalent Elastic Strain
State	Solved		
Scope			
Scoping Method	Geometry Selection		
Geometry	All Bodies		
Definition			
Type	Total Deformation	Equivalent (von-Mises) Stress	Equivalent Elastic Strain
By	Time		
Display Time	Last		
Calculate Time History	Yes		
Identifier			
Suppressed	No		
Results			
Minimum	1,5977e-003 mm	0,37304 MPa	2,6325e-006 mm/mm
Maximum	0,18257 mm	201,6 MPa	1,0153e-003 mm/mm
Minimum Occurs On	Motor feste - AnsysSteinar:1		Stempel:2
Maximum Occurs On	Stempel:2	Motor feste - AnsysSteinar:1	
Information			
Time	1, s		
Load Step	1		
Substep	1		
Iteration Number	1		
Integration Point Results			
Display Option	Averaged		

Material Data

Structural Steel

TABLE 15
Structural Steel > Constants

Density	7,85e-006 kg mm ⁻³
Coefficient of Thermal Expansion	1,2e-005 C ⁻¹
Specific Heat	4,34e+005 mJ kg ⁻¹ C ⁻¹
Thermal Conductivity	6,05e-002 W mm ⁻¹ C ⁻¹
Resistivity	1,7e-004 ohm mm

TABLE 16
Structural Steel > Compressive Ultimate Strength

Compressive Ultimate Strength MPa	0,
-----------------------------------	----

TABLE 17
Structural Steel > Compressive Yield Strength

Compressive Yield Strength MPa	250,
--------------------------------	------

TABLE 18
Structural Steel > Tensile Yield Strength

Tensile Yield Strength MPa	
----------------------------	--

250,

TABLE 19
Structural Steel > Tensile Ultimate Strength

Tensile Ultimate Strength MPa
460,

TABLE 20
Structural Steel > Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion

Reference Temperature C
22,

TABLE 21
Structural Steel > Alternating Stress Mean Stress

Alternating Stress MPa	Cycles	Mean Stress MPa
3999,	10,	0,
2827,	20,	0,
1896,	50,	0,
1413,	100,	0,
1069,	200,	0,
441,	2000,	0,
262,	10000	0,
214,	20000	0,
138,	1,e+005	0,
114,	2,e+005	0,
86,2	1,e+006	0,

TABLE 22
Structural Steel > Strain-Life Parameters

Strength Coefficient MPa	Strength Exponent	Ductility Coefficient	Ductility Exponent	Cyclic Strength Coefficient MPa	Cyclic Strain Hardening Exponent
920,	-0,106	0,213	-0,47	1000,	0,2

TABLE 23
Structural Steel > Isotropic Elasticity

Temperature C	Young's Modulus MPa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus MPa	Shear Modulus MPa
	2,e+005	0,3	1,6667e+005	76923

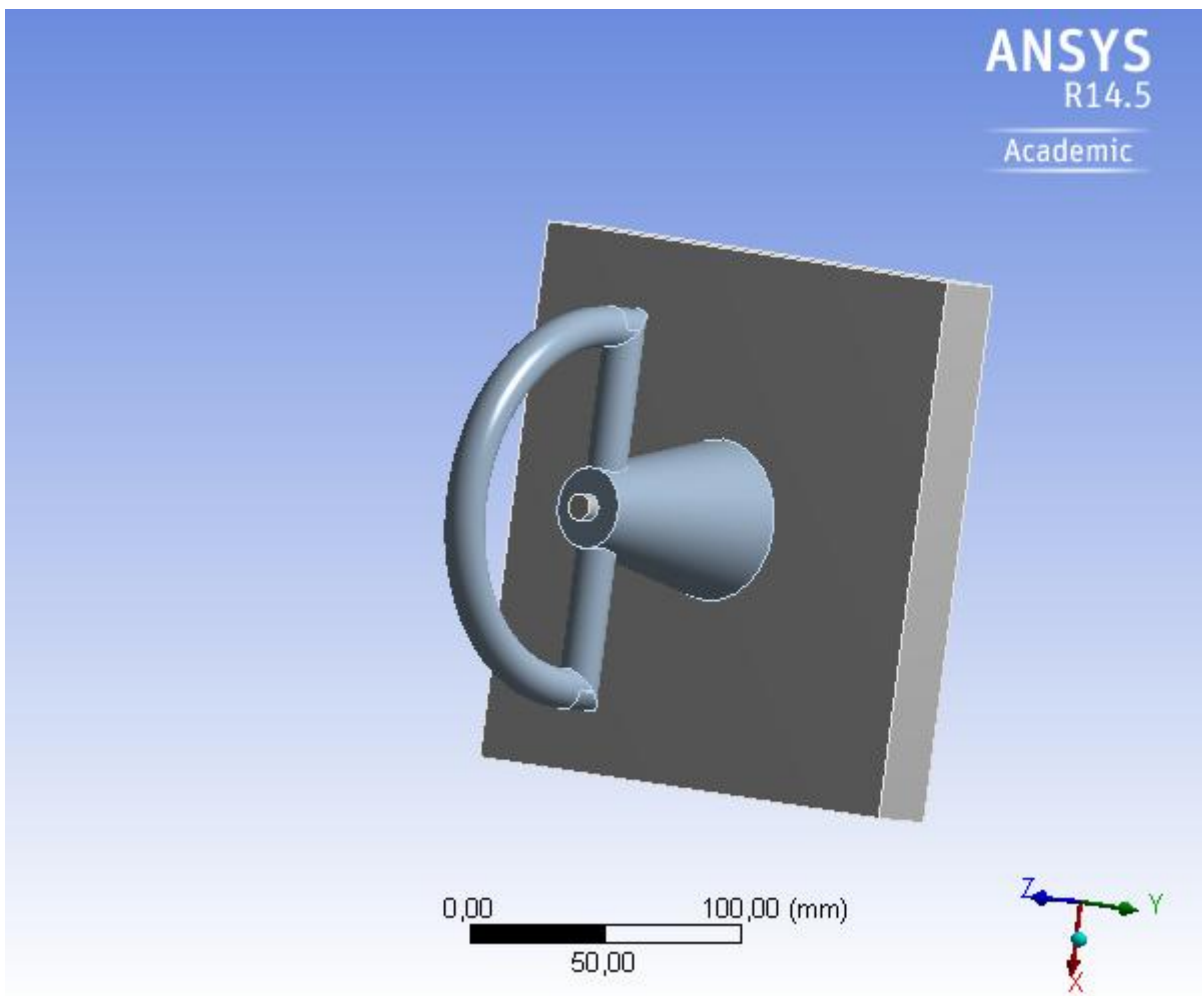
TABLE 24
Structural Steel > Isotropic Relative Permeability

Relative Permeability
10000



Project

First Saved	Wednesday, May 08, 2013
Last Saved	Wednesday, May 08, 2013
Product Version	14.5 Release
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No



Contents

- [Units](#)
- [Model \(B4\)](#)
 - [Geometry](#)
 - [Parts](#)
 - [Coordinate Systems](#)
 - [Connections](#)
 - [Contacts](#)
 - [Contact Region](#)
 - [Mesh](#)
 - [Static Structural \(B5\)](#)
 - [Analysis Settings](#)
 - [Loads](#)
 - [Solution \(B6\)](#)
 - [Solution Information](#)
 - [Results](#)
- [Material Data](#)
 - [Structural Steel](#)

Units

TABLE 1

Unit System	Metric (mm, kg, N, s, mV, mA) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

Model (B4)

Geometry

TABLE 2
Model (B4) > Geometry

Object Name	<i>Geometry</i>
State	Fully Defined
Definition	
Source	H:\Min Mappe\Hovedoppgave\Holdepunkt Ansys.iam
Type	Inventor
Length Unit	Centimeters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
Bounding Box	
Length X	200, mm
Length Y	200, mm
Length Z	170, mm
Properties	
Volume	1,1715e+006 mm ³
Mass	9,1963 kg
Scale Factor Value	1,

Statistics	
Bodies	2
Active Bodies	2
Nodes	23338
Elements	12823
Mesh Metric	None
Basic Geometry Options	
Solid Bodies	Yes
Surface Bodies	Yes
Line Bodies	No
Parameters	Yes
Parameter Key	DS
Attributes	No
Named Selections	No
Material Properties	No
Advanced Geometry Options	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	No
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	No
Attach File Via Temp File	Yes
Temporary Directory	C:\Documents and Settings\130924.HSH\Lokale innstillinger\Temp
Analysis Type	3-D
Mixed Import Resolution	None
Decompose Disjoint Geometry	Yes
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

TABLE 3
Model (B4) > Geometry > Parts

Object Name	<i>bolt på plate:1</i>	<i>Holdepunkt:1</i>
State	Meshed	
Graphics Properties		
Visible	Yes	
Transparency	1	
Definition		
Suppressed	No	
Stiffness Behavior	Flexible	
Coordinate System	Default Coordinate System	
Reference Temperature	By Environment	
Material		
Assignment	Structural Steel	
Nonlinear Effects	Yes	
Thermal Strain Effects	Yes	
Bounding Box		
Length X	200, mm	150, mm
Length Y	200, mm	60, mm
Length Z	100, mm	145, mm
Properties		
Volume	1,0059e+006 mm ³	1,6561e+005 mm ³
Mass	7,8962 kg	1,3 kg

Centroid X	2,7891e-011 mm	-9,2182e-006 mm
Centroid Y	-9,185e-016 mm	-4,7762e-007 mm
Centroid Z	12,782 mm	76,397 mm
Moment of Inertia Ip1	26707 kg·mm ²	2180, kg·mm ²
Moment of Inertia Ip2	26707 kg·mm ²	3231,2 kg·mm ²
Moment of Inertia Ip3	52334 kg·mm ²	1332,4 kg·mm ²
Statistics		
Nodes	14563	8775
Elements	8111	4712
Mesh Metric	None	

Coordinate Systems

TABLE 4
Model (B4) > Coordinate Systems > Coordinate System

Object Name	<i>Global Coordinate System</i>
State	Fully Defined
Definition	
Type	Cartesian
Coordinate System ID	0,
Origin	
Origin X	0, mm
Origin Y	0, mm
Origin Z	0, mm
Directional Vectors	
X Axis Data	[1, 0, 0,]
Y Axis Data	[0, 1, 0,]
Z Axis Data	[0, 0, 1,]

Connections

TABLE 5
Model (B4) > Connections

Object Name	<i>Connections</i>
State	Fully Defined
Auto Detection	
Generate Automatic Connection On Refresh	Yes
Transparency	
Enabled	Yes

TABLE 6
Model (B4) > Connections > Contacts

Object Name	<i>Contacts</i>
State	Fully Defined
Definition	
Connection Type	Contact
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	All Bodies
Auto Detection	
Tolerance Type	Slider
Tolerance Slider	0,

Tolerance Value	0,825 mm
Use Range	No
Face/Face	Yes
Face/Edge	No
Edge/Edge	No
Priority	Include All
Group By	Bodies
Search Across	Bodies

TABLE 7
Model (B4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	<i>Contact Region</i>
State	Fully Defined
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Contact	2 Faces
Target	2 Faces
Contact Bodies	bolt på plate:1
Target Bodies	Holdepunkt:1
Definition	
Type	Bonded
Scope Mode	Automatic
Behavior	Program Controlled
Trim Contact	Program Controlled
Trim Tolerance	0,825 mm
Suppressed	No
Advanced	
Formulation	Program Controlled
Detection Method	Program Controlled
Penetration Tolerance	Program Controlled
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled
Normal Stiffness	Program Controlled
Update Stiffness	Program Controlled
Pinball Region	Program Controlled

Mesh

TABLE 8
Model (B4) > Mesh

Object Name	<i>Mesh</i>
State	Solved
Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Relevance	0
Sizing	
Use Advanced Size Function	Off
Relevance Center	Fine
Element Size	Default
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse

Minimum Edge Length	0,417960 mm
Inflation	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0,272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1,2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
Patch Conforming Options	
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Advanced	
Shape Checking	Standard Mechanical
Element Midside Nodes	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Number of Retries	Default (4)
Extra Retries For Assembly	Yes
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Mesh Morphing	Disabled
Defeaturing	
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
Automatic Mesh Based Defeaturing	On
Defeaturing Tolerance	Default
Statistics	
Nodes	23338
Elements	12823
Mesh Metric	None

Static Structural (B5)

TABLE 9
Model (B4) > Analysis

Object Name	<i>Static Structural (B5)</i>
State	Solved
Definition	
Physics Type	Structural
Analysis Type	Static Structural
Solver Target	Mechanical APDL
Options	
Environment Temperature	22, °C
Generate Input Only	No

TABLE 10
Model (B4) > Static Structural (B5) > Analysis Settings

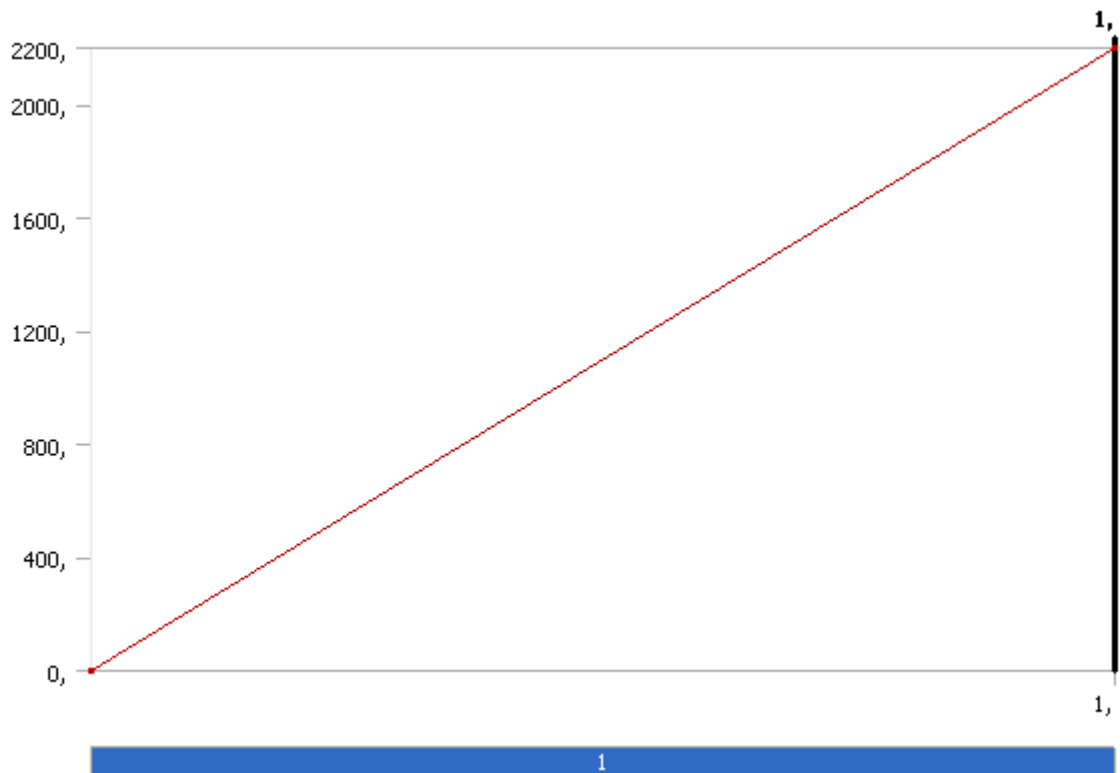
Object Name	<i>Analysis Settings</i>
State	Fully Defined
Step Controls	
Number Of Steps	1,
Current Step Number	1,

Step End Time	1, s
Auto Time Stepping	Program Controlled
Solver Controls	
Solver Type	Program Controlled
Weak Springs	Program Controlled
Large Deflection	Off
Inertia Relief	Off
Restart Controls	
Generate Restart Points	Program Controlled
Retain Files After Full Solve	No
Nonlinear Controls	
Force Convergence	Program Controlled
Moment Convergence	Program Controlled
Displacement Convergence	Program Controlled
Rotation Convergence	Program Controlled
Line Search	Program Controlled
Stabilization	Off
Output Controls	
Stress	Yes
Strain	Yes
Nodal Forces	No
Contact Miscellaneous	No
General Miscellaneous	No
Store Results At	All Time Points
Max Number of Result Sets	Program Controlled
Analysis Data Management	
Solver Files Directory	C:\Documents and Settings\130924.HSH\Lokale innstillinger\Temp\WB_PCHSTU088_6820_2\unsaved_project_files\dp0\SYS\MECH\
Future Analysis	None
Scratch Solver Files Directory	
Save MAPDL db	No
Delete Unneeded Files	Yes
Nonlinear Solution	No
Solver Units	Active System
Solver Unit	nmm

TABLE 11
Model (B4) > Static Structural (B5) > Loads

Object Name	<i>Force</i>	<i>Fixed Support</i>
State	Fully Defined	
Scope		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	1 Face	
Definition		
Type	Force	Fixed Support
Define By	Vector	
Magnitude	2200, N (ramped)	
Direction	Defined	
Suppressed	No	

FIGURE 1
Model (B4) > Static Structural (B5) > Force



Solution (B6)

TABLE 12
Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution

Object Name	<i>Solution (B6)</i>
State	Solved
Adaptive Mesh Refinement	
Max Refinement Loops	1,
Refinement Depth	2,
Information	
Status	Done

TABLE 13
Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Solution Information

Object Name	<i>Solution Information</i>
State	Solved
Solution Information	
Solution Output	Solver Output
Newton-Raphson Residuals	0
Update Interval	2,5 s
Display Points	All
FE Connection Visibility	
Activate Visibility	Yes
Display	All FE Connectors
Draw Connections Attached To	All Nodes
Line Color	Connection Type
Visible on Results	No
Line Thickness	Single
Display Type	Lines

TABLE 14
Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Results

Object Name	<i>Total Deformation</i>	<i>Equivalent Stress</i>	<i>Equivalent Elastic Strain</i>
State	Solved		
Scope			
Scoping Method	Geometry Selection		
Geometry	All Bodies		
Definition			
Type	Total Deformation	Equivalent (von-Mises) Stress	Equivalent Elastic Strain
By	Time		
Display Time	Last		
Calculate Time History	Yes		
Identifier			
Suppressed	No		
Results			
Minimum	0, mm	2,4577e-005 MPa	1,5048e-010 mm/mm
Maximum	8,5982e-002 mm	89,389 MPa	5,2732e-004 mm/mm
Minimum Occurs On	bolt på plate:1		
Maximum Occurs On	Holdepunkt:1		
Information			
Time	1, s		
Load Step	1		
Substep	1		
Iteration Number	1		
Integration Point Results			
Display Option	Averaged		

Material Data

Structural Steel

TABLE 15
Structural Steel > Constants

Density	7,85e-006 kg mm ⁻³
---------	-------------------------------

Coefficient of Thermal Expansion	1,2e-005 C ⁻¹
Specific Heat	4,34e+005 mJ kg ⁻¹ C ⁻¹
Thermal Conductivity	6,05e-002 W mm ⁻¹ C ⁻¹
Resistivity	1,7e-004 ohm mm

TABLE 16
Structural Steel > Compressive Ultimate Strength

Compressive Ultimate Strength MPa
0,

TABLE 17
Structural Steel > Compressive Yield Strength

Compressive Yield Strength MPa
250,

TABLE 18
Structural Steel > Tensile Yield Strength

Tensile Yield Strength MPa
250,

TABLE 19
Structural Steel > Tensile Ultimate Strength

Tensile Ultimate Strength MPa
460,

TABLE 20
Structural Steel > Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion

Reference Temperature C
22,

TABLE 21
Structural Steel > Alternating Stress Mean Stress

Alternating Stress MPa	Cycles	Mean Stress MPa
3999,	10,	0,
2827,	20,	0,
1896,	50,	0,
1413,	100,	0,
1069,	200,	0,
441,	2000,	0,
262,	10000	0,
214,	20000	0,
138,	1,e+005	0,
114,	2,e+005	0,
86,2	1,e+006	0,

TABLE 22
Structural Steel > Strain-Life Parameters

Strength Coefficient MPa	Strength Exponent	Ductility Coefficient	Ductility Exponent	Cyclic Strength Coefficient MPa	Cyclic Strain Hardening Exponent
920,	-0,106	0,213	-0,47	1000,	0,2

TABLE 23
Structural Steel > Isotropic Elasticity

Temperature C	Young's Modulus MPa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus MPa	Shear Modulus MPa
	2,e+005	0,3	1,6667e+005	76923

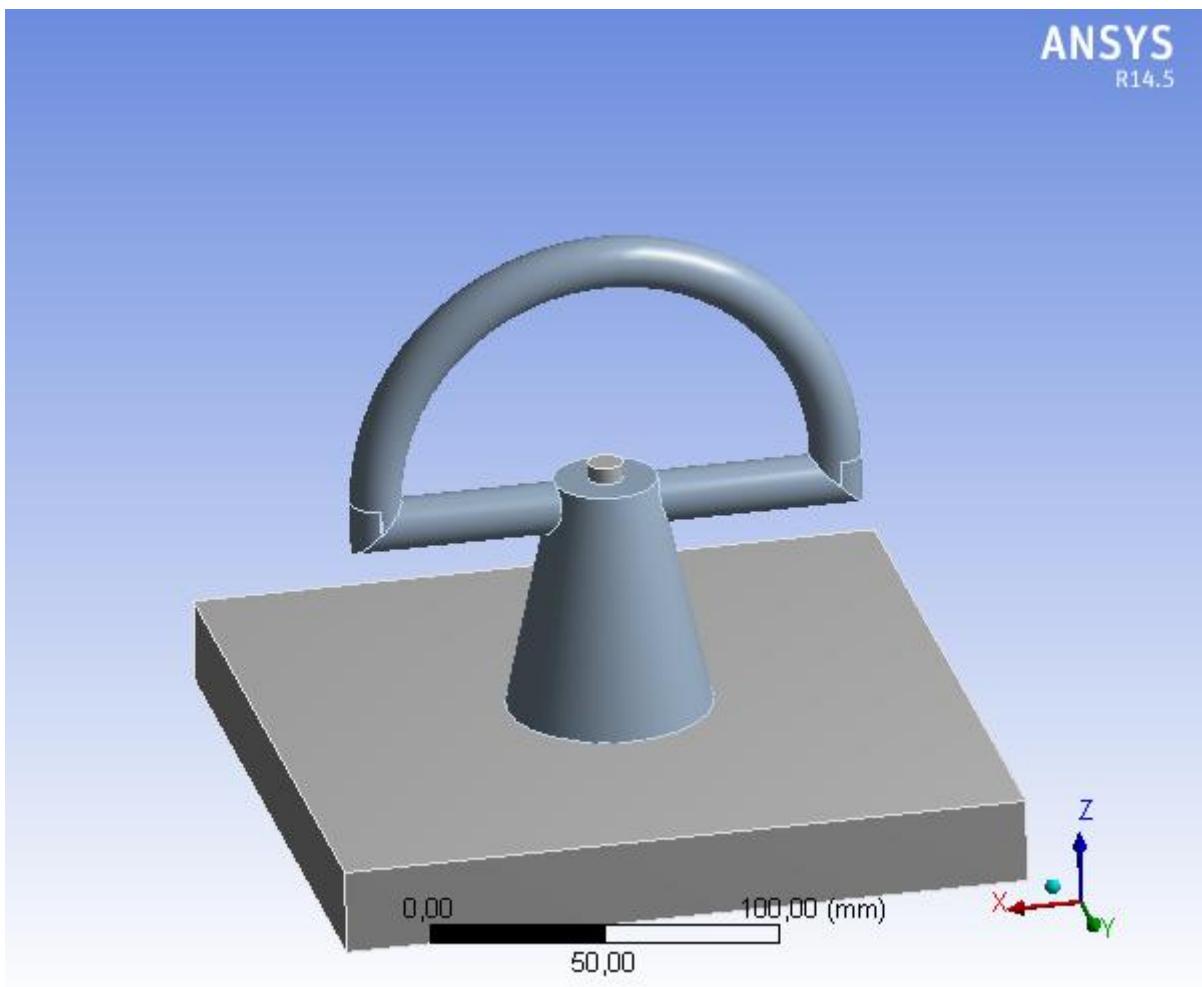
TABLE 24
Structural Steel > Isotropic Relative Permeability

Relative Permeability
10000



Project

First Saved	Thursday, May 09, 2013
Last Saved	Thursday, May 09, 2013
Product Version	14.5 Release
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No



Contents

- [Units](#)
- [Model \(A4\)](#)
 - [Geometry](#)
 - [Parts](#)
 - [Coordinate Systems](#)
 - [Connections](#)
 - [Contacts](#)
 - [Contact Region](#)
 - [Mesh](#)
 - [Static Structural \(A5\)](#)
 - [Analysis Settings](#)
 - [Loads](#)
 - [Solution \(A6\)](#)
 - [Solution Information](#)
 - [Results](#)
 - [Stress Tool](#)
 - [Safety Factor](#)
- [Material Data](#)
 - [Structural Steel](#)

Units

TABLE 1

Unit System	Metric (mm, kg, N, s, mV, mA) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

Model (A4)

Geometry

TABLE 2
Model (A4) > Geometry

Object Name	<i>Geometry</i>
State	Fully Defined
Definition	
Source	H:\Min Mappe\Hovedoppgave\Holdepunkt Ansys.iam
Type	Inventor
Length Unit	Centimeters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
Bounding Box	
Length X	200, mm
Length Y	200, mm
Length Z	170, mm
Properties	
Volume	1,1715e+006 mm ³
Mass	9,1963 kg

Scale Factor Value	1,
Statistics	
Bodies	2
Active Bodies	2
Nodes	4240
Elements	2152
Mesh Metric	None
Basic Geometry Options	
Solid Bodies	Yes
Surface Bodies	Yes
Line Bodies	No
Parameters	Yes
Parameter Key	DS
Attributes	No
Named Selections	No
Material Properties	No
Advanced Geometry Options	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	No
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	No
Attach File Via Temp File	Yes
Temporary Directory	C:\Documents and Settings\130924.HSH\Lokale innstillinger\Temp
Analysis Type	3-D
Mixed Import Resolution	None
Decompose Disjoint Geometry	Yes
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

TABLE 3
Model (A4) > Geometry > Parts

Object Name	<i>bolt på plate:1</i>	<i>Holdepunkt:1</i>
State	Meshed	
Graphics Properties		
Visible	Yes	
Transparency	1	
Definition		
Suppressed	No	
Stiffness Behavior	Flexible	
Coordinate System	Default Coordinate System	
Reference Temperature	By Environment	
Material		
Assignment	Structural Steel	
Nonlinear Effects	Yes	
Thermal Strain Effects	Yes	
Bounding Box		
Length X	200, mm	150, mm
Length Y	200, mm	60, mm
Length Z	100, mm	145, mm
Properties		
Volume	1,0059e+006 mm ³	1,6561e+005 mm ³

Mass	7,8962 kg	1,3 kg
Centroid X	2,7891e-011 mm	2,5905e-004 mm
Centroid Y	-9,185e-016 mm	-2,5508e-005 mm
Centroid Z	12,782 mm	76,19 mm
Moment of Inertia Ip1	26707 kg·mm ²	2152, kg·mm ²
Moment of Inertia Ip2	26707 kg·mm ²	3188, kg·mm ²
Moment of Inertia Ip3	52334 kg·mm ²	1314,6 kg·mm ²
Statistics		
Nodes	2090	2150
Elements	1054	1098
Mesh Metric	None	

Coordinate Systems

TABLE 4
Model (A4) > Coordinate Systems > Coordinate System

Object Name	<i>Global Coordinate System</i>
State	Fully Defined
Definition	
Type	Cartesian
Coordinate System ID	0,
Origin	
Origin X	0, mm
Origin Y	0, mm
Origin Z	0, mm
Directional Vectors	
X Axis Data	[1, 0, 0,]
Y Axis Data	[0, 1, 0,]
Z Axis Data	[0, 0, 1,]

Connections

TABLE 5
Model (A4) > Connections

Object Name	<i>Connections</i>
State	Fully Defined
Auto Detection	
Generate Automatic Connection On Refresh	Yes
Transparency	
Enabled	Yes

TABLE 6
Model (A4) > Connections > Contacts

Object Name	<i>Contacts</i>
State	Fully Defined
Definition	
Connection Type	Contact
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	All Bodies
Auto Detection	
Tolerance Type	Slider

Tolerance Slider	0,
Tolerance Value	0,825 mm
Use Range	No
Face/Face	Yes
Face/Edge	No
Priority	Include All
Group By	Bodies
Search Across	Bodies

TABLE 7
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	<i>Contact Region</i>
State	Fully Defined
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Contact	2 Faces
Target	2 Faces
Contact Bodies	bolt på plate:1
Target Bodies	Holdepunkt:1
Definition	
Type	Bonded
Scope Mode	Automatic
Behavior	Program Controlled
Trim Contact	Program Controlled
Trim Tolerance	0,825 mm
Suppressed	No
Advanced	
Formulation	Program Controlled
Penetration Tolerance	Program Controlled
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled
Update Stiffness	Program Controlled
Pinball Region	Program Controlled

Mesh

TABLE 8
Model (A4) > Mesh

Object Name	<i>Mesh</i>
State	Solved
Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Relevance	0
Sizing	
Use Advanced Size Function	Off
Relevance Center	Coarse
Element Size	Default
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Minimum Edge Length	0,417960 mm
Inflation	

Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0,272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1,2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
Patch Conforming Options	
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Advanced	
Shape Checking	Standard Mechanical
Element Midside Nodes	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Number of Retries	Default (4)
Extra Retries For Assembly	Yes
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Mesh Morphing	Disabled
Defeaturing	
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
Automatic Mesh Based Defeaturing	On
Defeaturing Tolerance	Default
Statistics	
Nodes	4240
Elements	2152
Mesh Metric	None

Static Structural (A5)

TABLE 9
Model (A4) > Analysis

Object Name	<i>Static Structural (A5)</i>
State	Solved
Definition	
Physics Type	Structural
Analysis Type	Static Structural
Solver Target	Mechanical APDL
Options	
Environment Temperature	22, °C
Generate Input Only	No

TABLE 10
Model (A4) > Static Structural (A5) > Analysis Settings

Object Name	<i>Analysis Settings</i>
State	Fully Defined
Step Controls	
Number Of Steps	1,
Current Step Number	1,
Step End Time	1, s

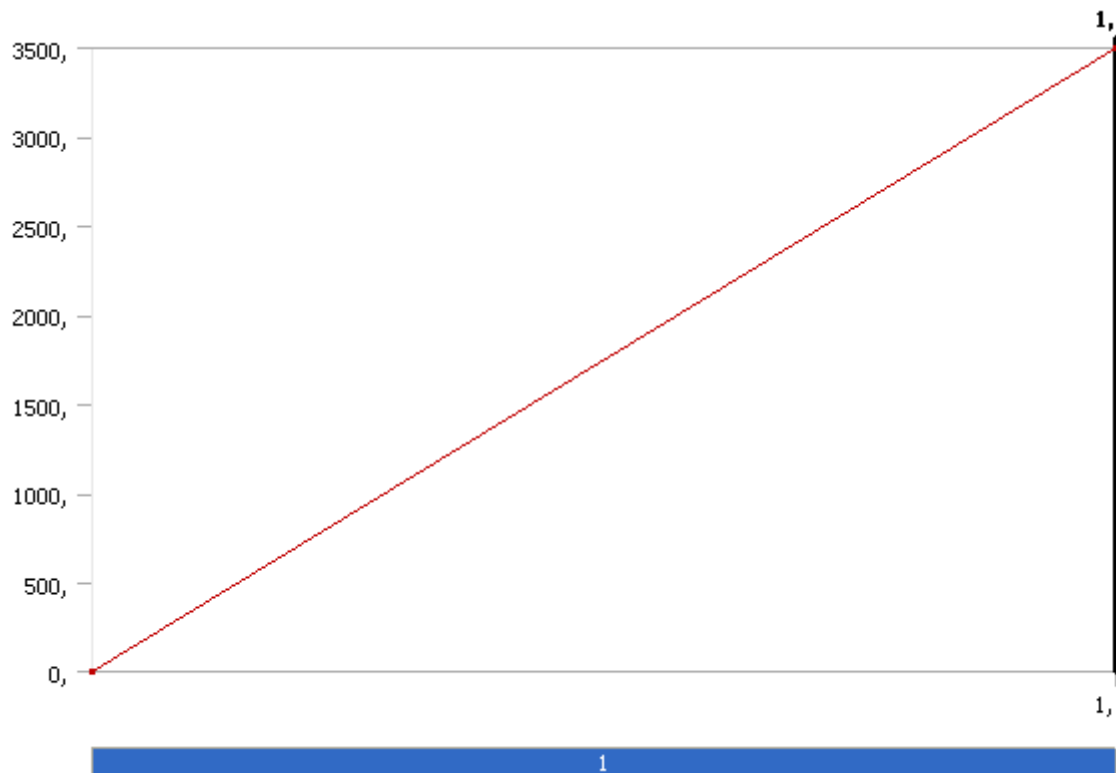
Auto Time Stepping	Program Controlled
Solver Controls	
Solver Type	Program Controlled
Weak Springs	Program Controlled
Inertia Relief	Off
Restart Controls	
Generate Restart Points	Program Controlled
Retain Files After Full Solve	No
Nonlinear Controls	
Force Convergence	Program Controlled
Moment Convergence	Program Controlled
Displacement Convergence	Program Controlled
Rotation Convergence	Program Controlled
Line Search	Program Controlled
Output Controls	
Stress	Yes
Strain	Yes
Nodal Forces	No
Contact Miscellaneous	No
General Miscellaneous	No
Store Results At	All Time Points
Analysis Data Management	
Solver Files Directory	C:\Documents and Settings\130924.HSH\Lokale innstillinger\Temp\WB_PCHSTU088_11892_2\unsaved_project_files\dp0\SYS\MECH\
Future Analysis	None
Scratch Solver Files Directory	
Save MAPDL db	No
Delete Unneeded Files	Yes
Nonlinear Solution	No
Solver Units	Active System
Solver Unit System	nmm

TABLE 11
Model (A4) > Static Structural (A5) > Loads

Object Name	<i>Force</i>	<i>Fixed Support</i>
State	Fully Defined	

Scope		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	1 Face	
Definition		
Type	Force	Fixed Support
Define By	Vector	
Magnitude	3500, N (ramped)	
Direction	Defined	
Suppressed	No	

FIGURE 1
Model (A4) > Static Structural (A5) > Force



Solution (A6)

TABLE 12
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution

Object Name	<i>Solution (A6)</i>
State	Solved
Adaptive Mesh Refinement	
Max Refinement Loops	1,
Refinement Depth	2,
Information	
Status	Done

TABLE 13
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Solution Information

Object Name	<i>Solution Information</i>
State	Solved
Solution Information	

Solution Output	Solver Output
Newton-Raphson Residuals	0
Update Interval	2,5 s
Display Points	All
FE Connection Visibility	
Activate Visibility	Yes
Display	All FE Connectors
Draw Connections Attached To	All Nodes
Line Color	Connection Type
Visible on Results	No
Line Thickness	Single
Display Type	Lines

TABLE 14
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Results

Object Name	<i>Total Deformation</i>	<i>Equivalent Stress</i>	<i>Equivalent Elastic Strain</i>
State	Solved		
Scope			
Scoping Method	Geometry Selection		
Geometry	1 Face	All Bodies	
Definition			
Type	Total Deformation	Equivalent (von-Mises) Stress	Equivalent Elastic Strain
By	Time		
Display Time	Last		
Calculate Time History	Yes		
Identifier			
Suppressed	No		
Results			
Minimum	0, mm	2,2182e-003 MPa	1,1091e-008 mm/mm
Maximum	0, mm	212,57 MPa	1,0653e-003 mm/mm
Minimum Occurs On	bolt på plate:1		
Maximum Occurs On	Holdepunkt:1		
Information			
Time	1, s		
Load Step	1		
Substep	1		
Iteration Number	1		
Integration Point Results			
Display Option	Averaged		

TABLE 15
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Stress Safety Tools

Object Name	<i>Stress Tool</i>
State	Solved
Definition	
Theory	Max Equivalent Stress
Stress Limit Type	Tensile Yield Per Material

TABLE 16
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Stress Tool > Results

Object Name	<i>Safety Factor</i>
State	Solved
Scope	

Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	All Bodies
Definition	
Type	Safety Factor
By	Time
Display Time	Last
Calculate Time History	Yes
Identifier	
Suppressed	No
Integration Point Results	
Display Option	Averaged
Results	
Minimum	1,1761
Minimum Occurs On	Holdepunkt:1
Information	
Time	1, s
Load Step	1
Substep	1
Iteration Number	1

Material Data

Structural Steel

TABLE 17
Structural Steel > Constants

Density	7,85e-006 kg mm ⁻³
Coefficient of Thermal Expansion	1,2e-005 C ⁻¹
Specific Heat	4,34e+005 mJ kg ⁻¹ C ⁻¹
Thermal Conductivity	6,05e-002 W mm ⁻¹ C ⁻¹
Resistivity	1,7e-004 ohm mm

TABLE 18
Structural Steel > Compressive Ultimate Strength

Compressive Ultimate Strength MPa
0,

TABLE 19
Structural Steel > Compressive Yield Strength

Compressive Yield Strength MPa
250,

TABLE 20
Structural Steel > Tensile Yield Strength

Tensile Yield Strength MPa
250,

TABLE 21
Structural Steel > Tensile Ultimate Strength

Tensile Ultimate Strength MPa
460,

TABLE 22
Structural Steel > Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion

Reference Temperature C
22,

TABLE 23
Structural Steel > Alternating Stress Mean Stress

Alternating Stress MPa	Cycles	Mean Stress MPa
3999,	10,	0,
2827,	20,	0,
1896,	50,	0,
1413,	100,	0,
1069,	200,	0,
441,	2000,	0,
262,	10000	0,
214,	20000	0,
138,	1,e+005	0,
114,	2,e+005	0,
86,2	1,e+006	0,

TABLE 24
Structural Steel > Strain-Life Parameters

Strength Coefficient MPa	Strength Exponent	Ductility Coefficient	Ductility Exponent	Cyclic Strength Coefficient MPa	Cyclic Strain Hardening Exponent
920,	-0,106	0,213	-0,47	1000,	0,2

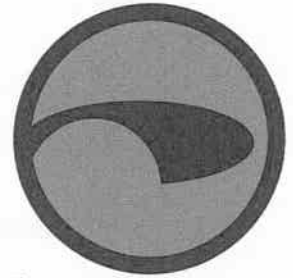
TABLE 25
Structural Steel > Isotropic Elasticity

Temperature C	Young's Modulus MPa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus MPa	Shear Modulus MPa
	2,e+005	0,3	1,6667e+005	76923

TABLE 26
Structural Steel > Isotropic Relative Permeability

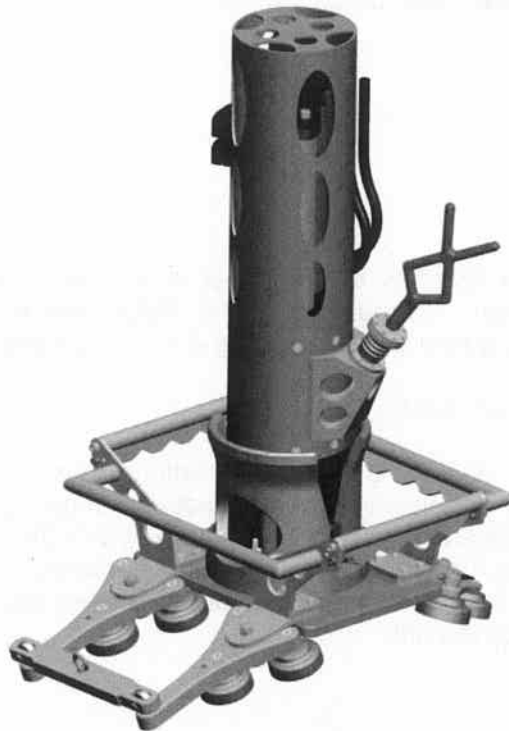
Relative Permeability
10000

Subsea Drilling Machine Operators Manual



Document No
AF28-1000R01.doc

Strandgaten 202
5525 Haugesund
Tel: 52 70 62 50
Fax: 52 70 62 01
Email: post@kystdesign.no
Web: www.kystdesign.no



Revision Description

Rev.	Date	Description	Internal			External	
			Originator	Checked	Accepted	Checked	Approved
01	12.04.13	ISSUED FOR PRODUCTION	LBR	AHO	EKB		
A	15.11.12	ISSUED FOR REVIEW	LBR	AHO	EKB		

Signature Legend

	Name	Initials	Position
Originator	Leif Bråtveit	LBR	Senior Engineer
Checker	Åge Holsbrekken	AHO	Engineering Manager, Mechanical
Approver	Erik K. Bakkevig	EKB	Managing Director


	<i>Document Title</i>	<i>Date of issue</i>	<i>Page</i>
	Subsea Drilling Machine Operators Manual	22.02.2013	2 of 7
		<i>Kystdesign Doc. No.</i>	<i>Rev.</i>
		AF28-1000R01	01

Table of contents	Side
1 INTRODUCTION	2
2 TECHNICAL DESCRIPTION	3
2.1 ATTACHMENT UNIT	3
2.2 DRILLING MACHINE	4
2.3 FLUSHING UNIT	5
2.4 GRABBER PLATE	5
3 OPERATING INSTRUCTIONS	6
APPENDIX A-DRAWINGS	7


1 INTRODUCTION

In connection with the removal of two steel jacket structures , a drilling tool has been developed by Kystdesign. The purpose of the drilling tool is to drill Ø100mm holes in the platform legs for securing pins and for draining of trapped water in platform legs during lifting.

The drilling operation main steps:

1. Cleaning of the docking area on the platform legs surface by high-pressure washer and/or brushes. The cleaning tools are not part of the Kystdesign delivery .
2. Place the Attachment unit on the clean area by WROV.
3. Slide the Drilling Tool in position into the Attachment unit and twist CCW to lock the drilling tool in position. During operation the Drilling tool will be held in position by the torque applied by the drill.

The Attachment unit is clamped to the steel structure by 12 magnetic pads. Each pad has a holding force of 130kg on steelplate with god surface finish. The magnetic pads are made of flexible PU with Neodymium magnets independent moulded into it for maximum flexibility. The total theoretical holding force is therefore more than 1500kg.

	<i>Document Title</i> Subsea Drilling Machine Operators Manual	<i>Date of issue</i> 22.02.2013	<i>Page</i> 3 of 7
		<i>Kystdesign Doc. No.</i> AF28-1000R01	<i>Rev.</i> 01

2 TECHNICAL DESCRIPTION

2.1 ATTACHMENT UNIT

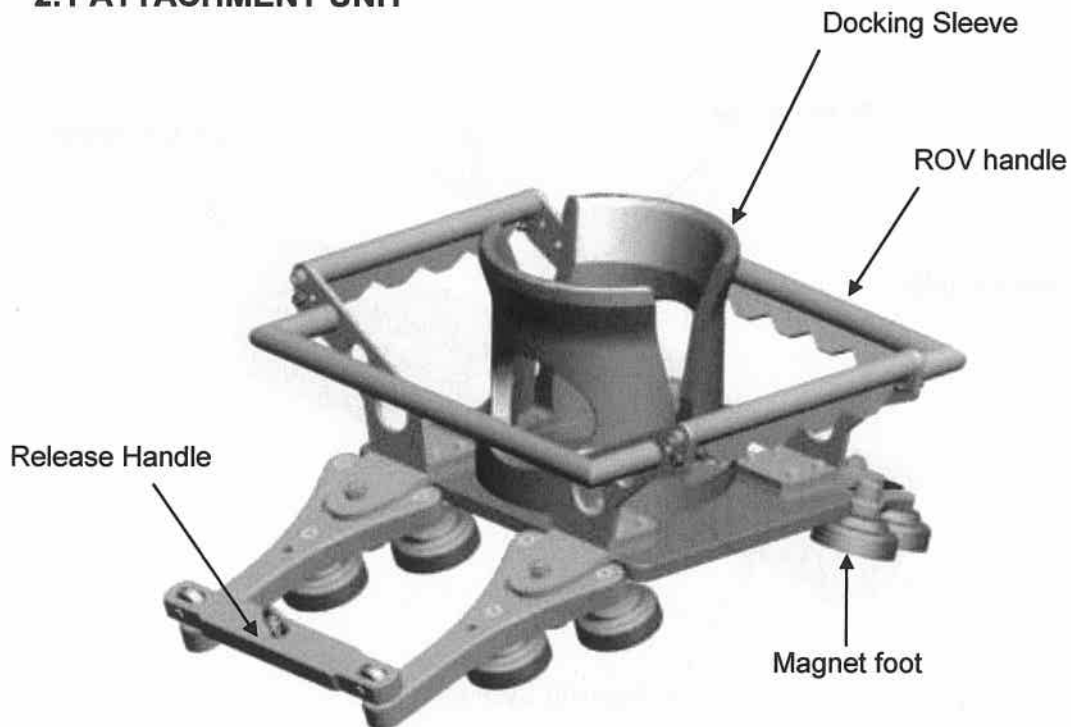


Fig. 1 Attachment Unit.

The Attachment Unit serves as a base for the Drilling tool.

It consists of a baseplate with docking sleeve, ROV handle and 12 magnetic pads.


Care must be taken when handling strong magnets to prevent injury and other unwanted situations.

The magnetic pads are equipped with protector plates which must be removed prior to operation.

The Attachment unit also has a release handle for easy removal of the tool.

Spesification:

- Dimensions (LxWxH): 795x630x395mm
- Weight in air: 44.5kg
- Hydraulic functions: None

	<i>Document Title</i> Subsea Drilling Machine Operators Manual	<i>Date of issue</i> 22.02.2013	<i>Page</i> 4 of 7
		<i>Kystdesign Doc. No.</i> AF28-1000R01	<i>Rev.</i> 01

2.2 DRILLING MACHINE

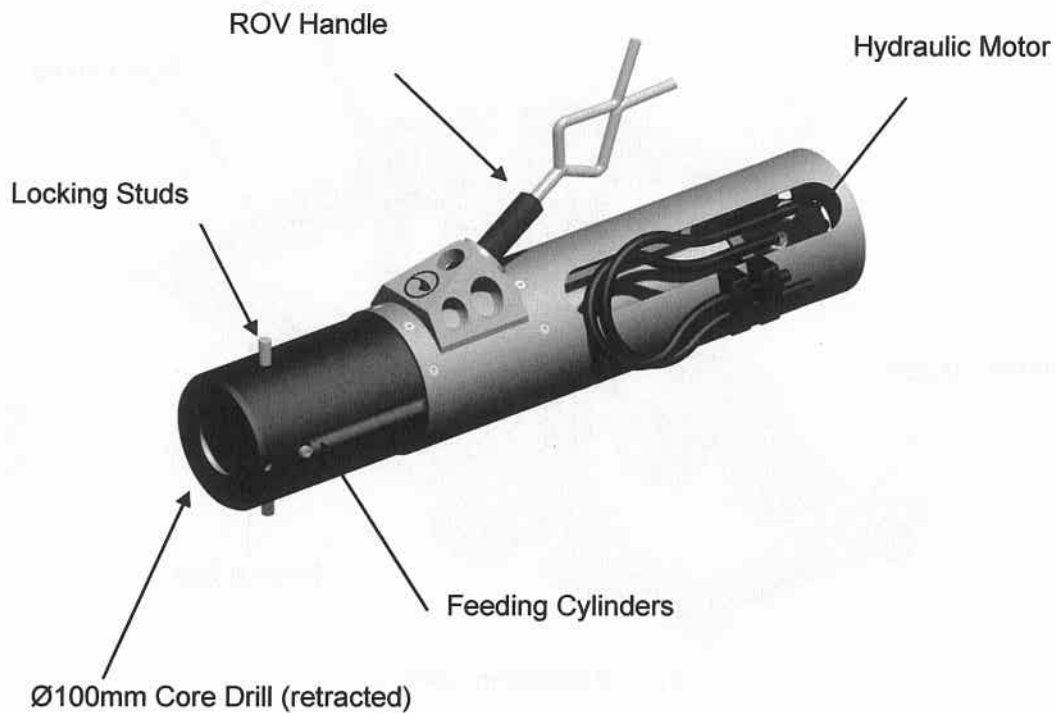



Fig. 2 Drilling Machine with Ø100mm diamond core drill.

The Drilling Machine consists mainly of a hydraulic motor, feeding cylinders and a Ø100mm core drill, all assembled into the drilling machine body made from POM C to reduce weight.

Spesification:

- Dimensions (LxDxW): 1030x210x510mm
- Weight in air: 46kg
- Weight in water: 29kg
- Hydraulic functions: 2 x Feeding cylinders and drilling motor.

	<i>Document Title</i> Subsea Drilling Machine Operators Manual	<i>Date of issue</i> 22.02.2013	<i>Page</i> 5 of 7
		<i>Kystdesign Doc. No.</i> AF28-1000R01	<i>Rev.</i> 01

2.3 FLUSHING UNIT

The Flushing Unit consist of a standalone impeller pump with integrated hydraulic motor. The unit must always be submerged in water before activation to prevent damage to the impeller. The outlet of the unit shall be connected to the flushing hose of the Drilling Tool to flush away any drilling chip from the core drill.

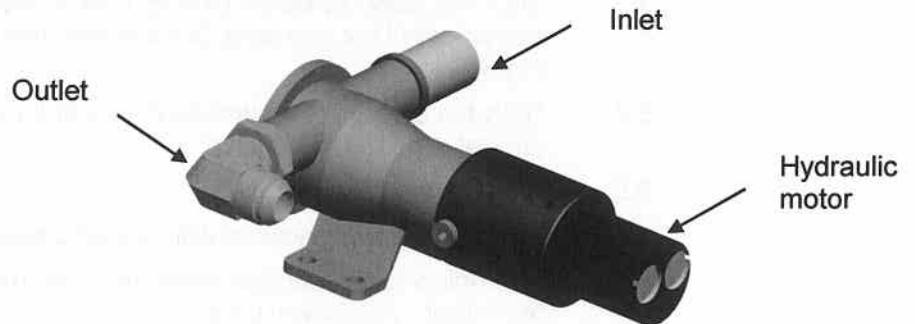


Fig.3 Flushing Unit

2.4 GRABBER PLATE

The Grabber Plate is to be used as an anchor point for the ROV or other equipment .

It is based on many of the same components as the Attachment unit and can therefore serve as spare parts.

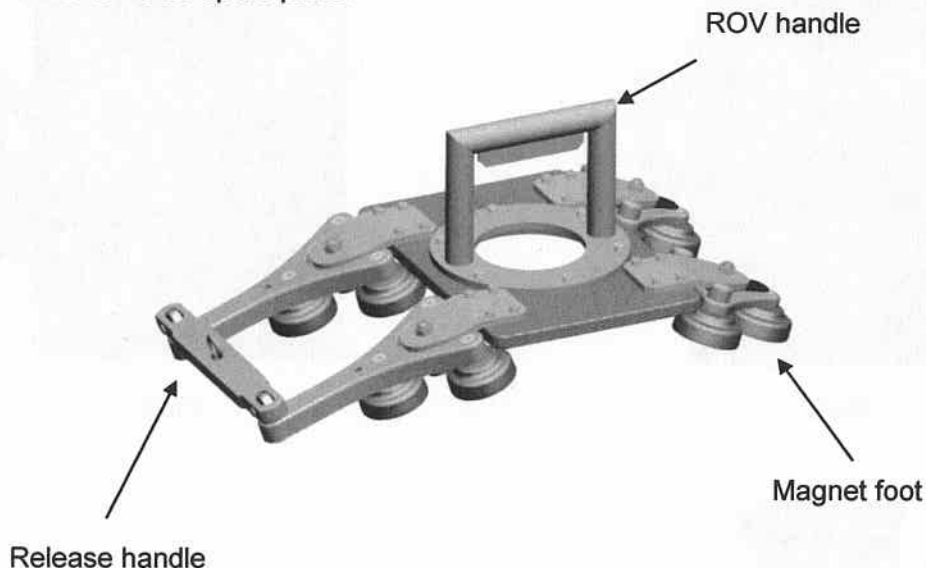



Fig. 4 Grabber plate

Spesification:

- Dimensions (LxWxH): 795x630x300mm
- Weight in air: 29kg
- Hydraulic Functions: None

	Document Title	Date of issue	Page
	Subsea Drilling Machine Operators Manual	22.02.2013	6 of 7
		Kystdesign Doc. No. AF28-1000R01	Rev. 01

3 OPERATING INSTRUCTIONS

- 3.1. Clean the surface of the operation area with high-pressure washer and/or brushes to ensure good contact surface for the magnet pads .
- 3.2. Place the Attachment unit in position as shown in Fig.5, and ensure that all magnet pads have contact with the steel pipe.
- 3.3. Slide the **fully retracted** Drilling Tool in position into the Attachment Unit and twist CCW to lock the drilling machine in position. Fig.6.
- 3.4. Start the drilling motor and confirm that it runs CW. Confirm that flow control is preset to 40 l/min.
- 3.5. Activate the flushing unit.
- 3.6. Activate feeding cylinders with preset pressure: 17-20 BAR
- 3.7. The drill is fully extended when the black mark is aligned with top of the motor. As shown in Fig.7.
- 3.8. **First** retract drill and then stop drilling motor.
- 3.9. Remove Drilling Machine by turning it CW and pulling it gently towards you to release it from the Attachment Unit.

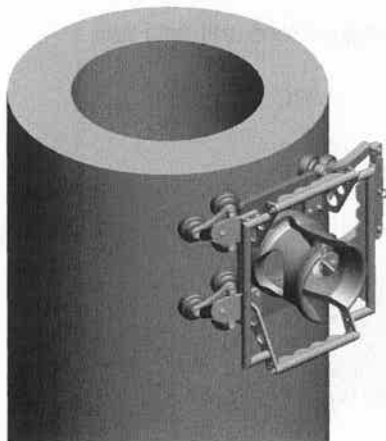


Fig.5

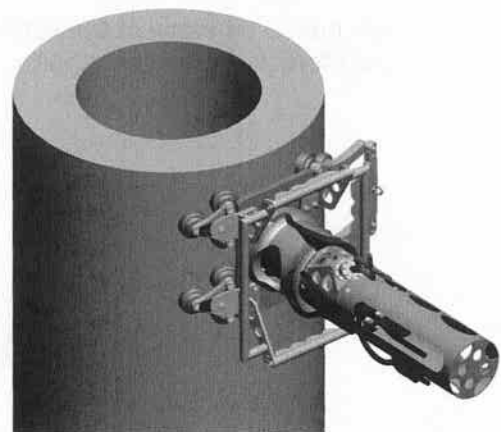


Fig.6

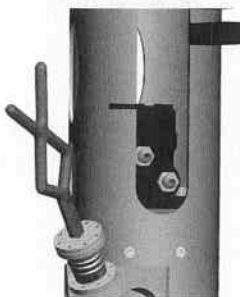



Fig.7

	<i>Document Title</i> Subsea Drilling Machine Operators Manual	<i>Date of issue</i> 22.02.2013	<i>Page</i> 7 of 7
		<i>Kystdesign Doc. No.</i> AF28-1000R01	<i>Rev.</i> 01

APPENDIX A-DRAWINGS

