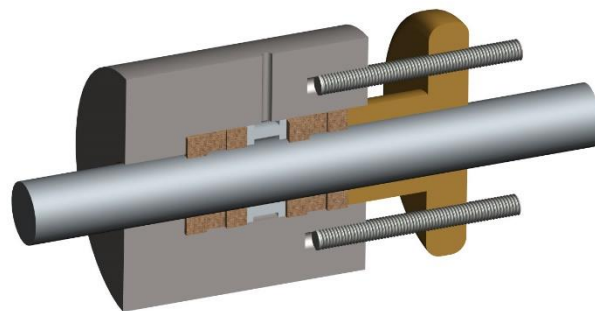


Modelling and simulation of a Rotary Swaging process.

Modellering och simulering av en rotationspressningsprocess



Examensarbete inom maskinteknik
Grundnivå, 30 högskolepoäng
Vårtermin 2024

av

**Justen Zaya
Onel Zaia**

Sammanfattning

Rapporten handlar om en litteraturstudie som genomförs för att upplysa om för- och nackdelar med rotatiospressningsprocessen. Rapporten diskuterar även några applikationer för rotatiospressning med fokus på bearbetning av motoraxlar för elektriska fordon.

En CAD-modellering och FEM-simulering har även utförts för att undersöka beteendet hos hammaren och arbetsstycket under bearbetningen. Syftet med detta är att analysera de spänningar och deformationer som arbetsstycket utsätts för. Detta i sin tur gjordes för att minska riskzoner ifall de uppstår på den bearbetande ytan.

Resultaten från simuleringen har bekräftat det förväntade utfallet av rotatiospressningsprocessen som beskrivs i litteraturstudien. Simuleringen visualiserar spänningen och deformationen mellan hammaren och arbetsstycket, vilket visar att arbetsstycket genomgår plastisk deformation utan att utsättas för brott eller skador vid hammarslagen. Dessutom visar simuleringen att denna bearbetningsmetod är både lämplig och fördelaktig för den valda typen av komponenter.

Nyckelord:

Finita elementmetoden (FEM), Computer Aided Design (CAD)

Abstract

The report is about a literature study conducted to highlight the advantages and disadvantages of the Rotary Swaging process. The report also discusses some applications of Rotary Swaging, with a focus on the processing of motor shafts for electric vehicles.

A CAD modeling and FEM simulation have also been performed to investigate the behavior of the hammer and the workpiece during processing. The purpose of this is to analyze the stresses and deformations that the workpiece is subjected to. This, in turn, was done to reduce risk zones if they arise on the processed surface.

The results from the simulation have confirmed the expected outcome of the Rotary Swaging process as described in the literature study. The simulation visualizes the stress and deformation between the hammer and the workpiece, demonstrating that the workpiece undergoes plastic deformation without experiencing fracture or damage from the hammer strikes. Additionally, the simulation shows that this processing method is both suitable and beneficial for the chosen type of components.

Keyword:

Finite Element Method (FEM), Computer Aided Design (CAD)

Förord

Vi har fått äran att genomföra vårt examensarbete, vilket är den sista delen i vår högskoleingenjörsutbildning inom maskinteknik vid Högskolan i Skövde. Detta examensarbete har motsvarat 30 högskolepoäng och har genomförts på heltid under ca 21 veckor. Syftet med detta arbete har varit att noggrant förklara och beskriva rotationspressning, dess för- och nackdelar samt att genomföra en simulering av processen.

Vi strävar efter en smidig översikt av de framsteg vi gjort under rapportbeskrivningen i vårt examensarbete, där vi detaljerat beskriver rotationspressningsprocess och presenterar resultaten av våra simuleringar klart och tydligt med text och bilder.

Vi vill passa på och rikta ett stort tack till alla lektorer på Högskolan i Skövde som gjort detta examensarbete möjligt för oss och för all stöd och vägledning. Slutligen vill vi specifikt tacka vår handledare Tobias Andersson och examinatorn Rohollah Ghasemi. Ett stort tack riktas även till Andreas Andersson Lassila för extrahjälp med simuleringen och dr. Lennart Ljungberg för hjälp av rapport uppbyggnad.


Intyg

Denna uppsats har lämnats in av Justen Zaya och Onel Zaia till Högskolan i Skövde som uppsats för erhållande av betyg för på grundnivå G2E inom huvudområdet Maskinteknik.

Undertecknande intygar härmed att allt material i denna uppsats som inte är resultatet av eget arbete har redovisats med källangivelse. Uppsatsen innehåller inte heller material som undertecknande redan tidigare fått tillgodoräknat sig inom sina akademiska studier.

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized, overlapping letters that appear to be 'JZ', written over a horizontal dashed line.

Justen Zaya

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized, overlapping letters that appear to be 'OZ', written over a horizontal dashed line.

Onel Zaia

Skövde 2024-06-02

Institutionen för Ingenjörsvetenskap

Innehållsförteckning

1. Introduktion	1
1.1 Bakgrund	2
1.2 Syfte	2
1.3 Frågeställningar	3
1.4 Uppdragetsmål	3
1.5 Avgränsningar	3
1.6 Förutsättningar	4
1.7 Etik och moral	4
2. Litteraturstudie	5
2.1 Rotationspressnings historiska utveckling	5
2.2 Rotationspressningsarbetsprincip	6
2.3 Rotationspressnings ingående delar	7
2.4 Risker och säkerhet	8
2.5 Rotationspressningsegenskaper	8
2.6 Rotationspressnings i tillverkningsindustrier	9
2.7 Alternativa bearbetningsprocesser	11
2.7.1 Trycksvarvning.....	11
2.7.2 Fräsning.....	12
2.7.3 Kallformning	14
2.8 Hållbar utveckling	16
2.8.1 Social hållbarhet.....	16
2.8.2 Ekologisk hållbarhet.....	16
2.8.3 Ekonomisk hållbarhet.....	17
3. För- och nackdelar med rotatiopressning.....	18
3.1 Fördelar med rotatiopressning	18
3.2 Nackdelar med rotatiopressning	18
4. Metod och genomförande.....	20
4.1 Materialval	20
4.2 CAD-modellering.....	21
4.3 Analytiska beräkningar.....	21
4.4 FEM-modell	22

4.4.1 Geometri	23
4.4.2 Material	23
4.4.3 Step	24
4.4.4 Interaktioner	25
4.4.5 Randvillkor och referenspunkter	27
4.4.6 Meshstudie.....	28
5. Resultat.....	30
5.1 Sammanfattning av simuleringsresultat	30
5.2 Materialval	31
5.3 Avläsning av simuleringsresultat i Abaqus CAE	31
5.4 Simuleringsbakgrund.....	32
5.5 Resultat från FEM-simulering.....	33
5.5.1 Studie.....	33
6. Diskussion	38
6.1 Resultat av litteraturstudie.....	38
6.2 Reflektion av metod och genomförande.....	38
6.3 Metodik av materialval.....	39
6.4 Resultat från FEM-simulering från Abaqus CAE	40
6.5 Hållbar utveckling	41
6.6 Genus.....	42
7. Slutsatser	43
8. Framtida arbete.....	44
Referenser.....	45
Bilagor.....	47
<i>Bilaga 1 – Litteratursökning</i>	47
<i>Bilaga 2 – Projektplan</i>	47
<i>Bilaga 3 – Mall av specifikation.....</i>	48
<i>Bilaga 4 – Handberäkning av periodisk amplitud</i>	51
<i>Bilaga 5 – Graf av Plasticitetsdata för stål.....</i>	52
<i>Bilaga 6 – Graf på den periodiska amplituden</i>	52
<i>Bilaga 7 – Figurförteckning</i>	53
<i>Bilaga 8 – Tabellförteckning</i>	54

1. Introduktion



Figur 1 – Exempel på bearbetande komponenter via rotatiöpressning (Lenka K, 2024)

I detta avsnitt beskrivs projektets bakgrund, syfte och frågeställningar, samt andra relevanta punkter som bidrar till en tydlig förståelse av ämnet.

Examensarbetet i helhet handlar om rotationspressningsprocessen som i sin tur är en kall bearbetningsprocess som har sin grund i att minska dimensioner eller på ett annat sätt ändra strukturen på en rör eller stång genom radiella slag. Denna process används främst för att bearbeta drivaxlar, rotationsaxlar på elfordon, kan även användas i stor utsträckning vid flyg- och militärindustrier. Processen går ut på att en stång eller rör matas in i en specifik form, där två eller flera stansar som öppnar och stänger med en hastighet upp till 10 000 slag per minut. När processen är i gång börjar hammarnas och stansarnas arbete att slå på arbetsstycket och få det till en mängd olika former, dessa former kan inkludera många olika typer av runda och rektangulära former. (Lenka K, 2024)

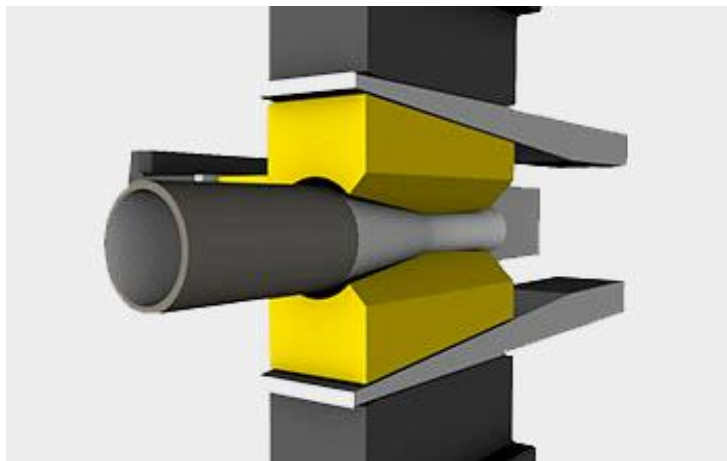
Bearbetningsprocessen har visat sig att vara tidseffektiv och noggrann med tanke på fördelarna och egenskaperna den har. Denna metod medför inga värmerelaterade skador på det bearbetande arbetsstycket eftersom det inte utsätts för höga temperaturer. På grund av den låga temperaturen som brukar användas vid kalla bearbetningsprocesser, kan materialets egenskaper som styrka, hårdhet och motstånd bevara sin kvalitet under bearbetningen. Konsekvenserna av att utsätta arbetsstycket inom Rotary Swaging för höga temperaturer kan vara dåliga och bör minimeras (Kalpakjian & Schmid, 2010). Några av dessa konsekvenser kan vara:

1. Verktygslitage kan accelereras på grund av höga temperaturer
2. Höga temperaturer kan orsaka dimensionsförändringar i arbetsstycket, vilket påverkar noggrannheten och precisionen av slutliga produkten
3. Höga temperaturer kan orsaka värmerelaterade skador och metalliska förändringar på den bearbetande ytan.

När det gäller vibrationer under rotationspressnings maskiner, brukar de vara utrustade med kontrollsystem som minimerar vibrationerna som dyker upp under bearbetningen. Det är viktigt att minimera dessa vibrationer eftersom de kan: försämra bearbetningsnoggrannheten, påskynda verktygslitage och brott, skada maskinen och dess komponenter, orsaka buller och ökad strömförbrukning och sist påverka ytkvaliteten. (Kalpakjian & Schmid, 2010)

1.1 Bakgrund

Examensarbetet utförs på uppdrag från Högskolan i Skövde och fokuserar på rotatiopressning. Rotatiopressning är även känd som Rotary Swaging på engelska, är en effektiv och ekonomisk tillverkningsmetod som används för att skapa roterande symmetriska komponenter med hög precision. Användningen av rotatiopressning minskar behovet av efterbearbetning, vilket sparar både på tid och material. De två mest kända metoder inom rotatiopressning är kall- och varm rotatiopressning, men fokuset kommer att endast ligga på kall rotatiopressning under detta examensarbete.



Figur 2 – Rotationspressningsprocess (Felss, u.å.)

1.2 Syfte

Syftet med detta examensarbete är att förstå och presentera information och fakta om rotationspressningsprocessen. En specifik metod känd som kall rotatiopressning, kommer att beskrivas utförligt tillsammans med dess användningsområden samt dess för- och nackdelar. Det ska även utföra en FEM- simulering med tanke att undersöka reaktioner som sker mellan hammaren och verktyget. Slutligen ska det även redogöras för rotatiopressning materialval i förhållande till hållbar utvecklings tre grundstenar: social, ekologi och ekonomi.

1.3 Frågeställningar

För att uppnå det bästa resultatet med detta arbete måste följande frågeställningar besvaras:

- Hur fungerar rotationspressningsprocessen inom tillverkningsindustrin ?
- Vilka är de fördelarna- respektive nackdelarna med rotationspressningsprocessen?
- Hur ser utvecklingen ut av denna bearbetningsprocess idag?
- Varför görs en simulering av hammare och verktyg i Abaqus CAE?
- Hur kan rotatiopressningsprocessen modelleras och simuleras med FEM?
- Vilka spänningar respektive deformationer utsätts arbetsstycket för?

1.4 Uppdragetsmål

För ett examensarbete är det avgörande att redan i början sätta upp mål för att säkerställa lyckade och önskade resultat. Nedan beskrivs några viktiga mål som tagits hänsyn till under detta arbete:

- Första steget är att genomföra en litteraturstudie vilket inkluderar studie av vetenskapliga artiklar, böcker, databaser, rapporter samt även andra relevanta källor baserat på kunskap inom rotationspressningsområdet.
- Andra steget är att välja och relatera det valda materialet till hållbar utvecklings tre viktiga grundstenar.
- Tredje steget är att skapa en FEM (finita element modell) av hammare och arbetsstycke för rotatiopressning i Abaqus CAE. Detta görs med syfte att upptäcka om hammaren och arbetsstycket utsätts för några skador, och även om arbetsstycket klarar av de olika belastningar det utsätts för från hammarslagen.
- Slutligen är det viktigt att dokumentera och sammanställa alla ovanstående punkter i en strukturerad rapport, där all teori, alla resultat och slutsatser samlas och skrivs ner för att ge en övergripande inblick av rotatiopressningsprocessen.

1.5 Avgränsningar

Denna studie har begränsats till att undersöka och presentera hur rotatiopressningsprocessen fungerar. Tidigt i arbetet upptäcktes att det saknas tidigare forskning om rotatiopressning, vilket ledde till vissa avgränsningar. Nedan beskrivs några av dessa avgränsningar:

- Simuleringen är avgränsad till enbart stål som material i både hammare och arbetsstycke.
- Begränsning gällande enbart tillverkning av motoraxlar till olika typer av elektriska fordon.
- Examensarbetet är avgränsat till 21 veckors heltidsarbete, vilket kan motsvara 40 timmars arbete per vecka.

- Begränsning gällande enbart resultat av effektivspänning (von Mises) och deformation.
- Fokus ligger på enbart kall rotationspressning.
- Simuleringen är avsedd att skapa modellen i Abaqus CAE.

1.6 Förutsättningar

På Högskolan i Skövde har studenten möjlighet och tillgång till grupprum, salar och datorer med bra verktyg, det vill säga alla material som behövs för att kunna utföra detta examensarbete. Studenten kan använda sig utav kurslitteratur från skolans bibliotek både på plats och online.

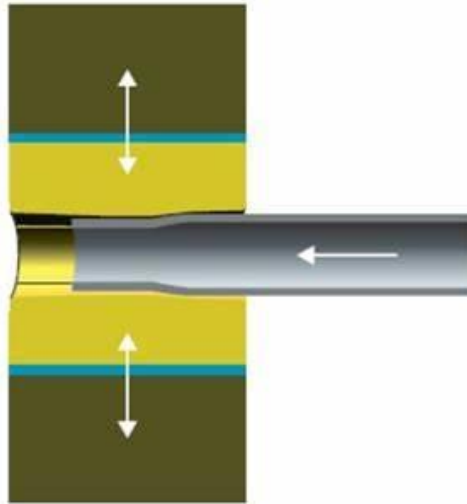
1.7 Etik och moral

Människor är speciella varelser som vill gärna leva tillsammans med andra människor utan några bekymmer. Detta kan ibland leda till konflikter och problem och det är därför det finns olika slag av lagar och regler människorna bör följa. Etik och moral är två viktiga termer som talar om för oss vilka handlingar är rätt att göra respektive fel. I ett stort sammanhang handlar etik och moral först och främst om vad som är gott och ont, korrekt och falskt, vilket brukar upplevas av människor dagligen. Båda orden har egentligen samma betydelse. Moral är ett fenomen som består av olika grunder, värderingar och normer som kan styra människors handlingar om vad som är rätt eller fel. Moralen kan vara personlig och kan även vara beroende från människors kultur, religion och samhälle. Etik är en term som handlar om att reflektera över moralen. Det är en mer teoretisk term och används normalt för utveckling av teorier och grundprinciper för beteende. (Ann H, 2014)

Under detta examensarbete kommer det tas hänsyn till etik och moral. Dessa två normer används för att följa moraliska grundprinciper i forskningsprocessen. Några av dessa grundprinciper kan inkludera, att välja ett rätt material för att inte skada miljön, att uppnå våra mål och välja rätt metoder, att säkerställa att arbetet gjorts på ett ansvarsfullt sätt gentemot deltagare, skolan och samhället och slutligen att undvika plagiering och fusk.

2. Litteraturstudie

För att presentera och öka förståelsen för vad rotationspressning innebär, följer nedan en utförlig beskrivning av litteraturstudie. Samling av information är avgörande för att besvara olika frågeställningar som är även relaterade till modellering och simulering av rotationspressningsprocessen. Bilden nedan och med hjälp av pilarna visar hur hammaren öppnar och stänger på den inmatade komponenten.



Figur 3 – Kall rotationspressningsprincip (Mech4study, 2019)

2.1 Rotationspressnings historiska utveckling

Rotationspressning kommer från det engelska ordet Rotary Swaging som uppfann vid 1900-talet från USA (Qi Z et al., 2014). Det är en bearbetningsprocess som med hjälp av tryckkrafter och hammarslag deformerar och hanterar ett objekt på ett arbetsstycke via en specifik form. De flesta pressningsmetoder använder sig av tryckkrafter med syfte att ändra storlek och dimension på det bearbetande materialet via en form. Idag finns det två vanliga typer av pressmetoder som är: rörformning och radial smidning. Rörformning liknar vanligtvis extrudering där arbetsmaterialet brukar pressas genom en specifik form i mindre dimensioner. Detta leder till att arbetsstycket får en ny form utefter den inre konturen. I skillnad från radial smidning, används två eller fyra stansar där det bearbetande materialet slås. Dessa stansar slår arbetsstycket från många olika vinklar, vilket leder till att uppnå mer svåra och komplicerade geometrier (Ghaei et al., 2007).

Denna specifika bearbetningsprocess utfördes förut för hand och idag med automatiserade maskiner. Tidigare användes en typ av hammare för att forma arbetsstycket och få önskad diameter och form. Detta kunde inte garantera att nå det bästa resultat. Utvecklingen har lett till att metoden utvecklats idag mer än förut. Automatiserade maskiner har tillverkats och är

tillgängliga i marknaden med programmerbara funktioner och avancerade kontrollsystem för att uppnå precision och noggrannhet. (Dhia C et al., 2021)

2.2 Rotationspressningsarbetsprincip

Rotationspressningsprocess är en industriell bearbetnings- och deformationsmetod som är lämplig för kallbearbetning. Den är unik och populär idag i en mängd olika tillverkningsindustrier på grund av dess mångsidighet och kan bearbeta många olika typer av material särskilt i bilindustrin (Lenka K, 2024). Rotationspressning använder två till fyra stansar, hammarsystem, rotationsspindel, swage die och andra ingående delar. Dessa arbetsdelar används för att forma och minska dimensioner eller på ett sätt ändra formen på en stänger (Brian F et al., 2005).

Rotationspressning börjar bli mer användbar idag på grund av att den är kostnadseffektiv, både material och viktbesparande formningsprocess som används för att reducera dimensioner på ett arbetsstycke. Det bearbetande materialet kan bestå av vilken metall som helst som är tillämplig för kall bearbetning. Denna bearbetningsprocess används vanligtvis för bearbetning av axlar och rördelar. Det kan även användas i relation för bearbetning av avsmalnande axlar, ihåliga axlar samt rotationsaxlar för fordon , flyg och fartyg (Tiantai T et al., 2023)

Processen går ut på att utnyttja flera verktygsegment som träffar arbetsstycket flera gånger i snabb följd. Under denna tid börjar materialet både strömmas och utformas med hög noggrannhet. Dessa verktygsegment brukar slå arbetsstycket som finns inuti maskinen mellan ca 1500 - 10 000 slag per minut beroende på materialet som bearbetas. (Tiantai T et al., 2023)

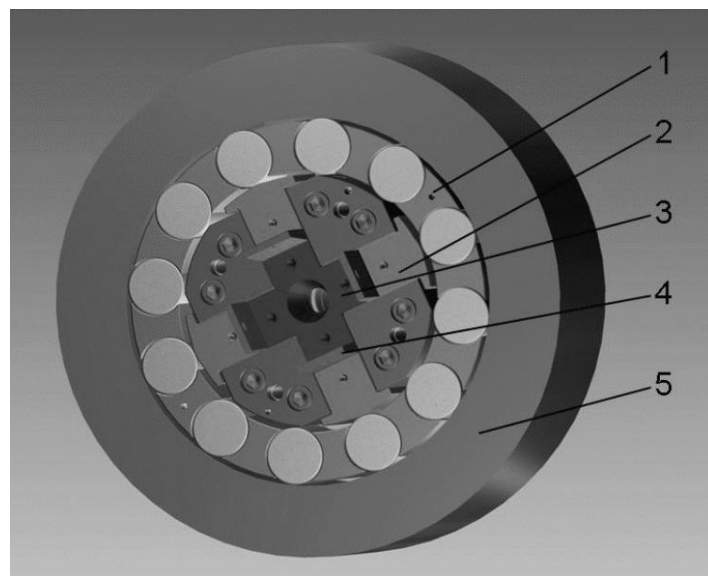


Figur 4 - Automatiserad rotationspressningsmaskin (D. Lim et al., 2019)

2.3 Rotationspressnings ingående delar

Rotationspressningsprocessen består av några viktiga delar som visas i (figur 5) och dessa är (Grupp P. Kienhörfer C., 2003):

1. **Rullbur:** denna del är viktig i rotationspressningsmaskin. Rullburen innehåller en mängd olika rullar eller hjul som stödjer bearbetningsprocessen. Dessa gör att det bearbetande materialet är placerad i mitten samt jämnt fördelad i maskinen.
2. **Hammare:** hammaren är en del av maskinen också och huvudfunktionen för den är att slå mot rullburen där arbetsstycket är placerat. Arbetsstycket formars genom plastisk deformation genom höga hastigheter och frekvenser. Hammarna är symmetriskt fördelade för att säkerställa en jämn rotation, annars kan det leda till skador på arbetsstycket och maskinen.
3. **Swage die:** arbetsstycket brukar formas i det som kallas för swage die. Denna del av maskin består av en mängd olika segment som kan öppnas och stängas runt om arbetsstycket. Swage die brukar ha en specifik form som önskas att ha till det bearbetande materialet under processen. Swage die är gjort av hårdmetall för att motstå nötande slitage och andra skador.
4. **Guidplatta:** denna del är viktig för att säkerställa att arbetsstycket är rätt placerat under processen. Detta stöttar swage die för att få den önskade storleken och formen på arbetsstycket.
5. **Maskinkropp eller ram:** det är den ramverket som håller ihop ingående delarna i en rotary swaging maskin, vilket medför instabilitet och flexibilitet för hela processen.

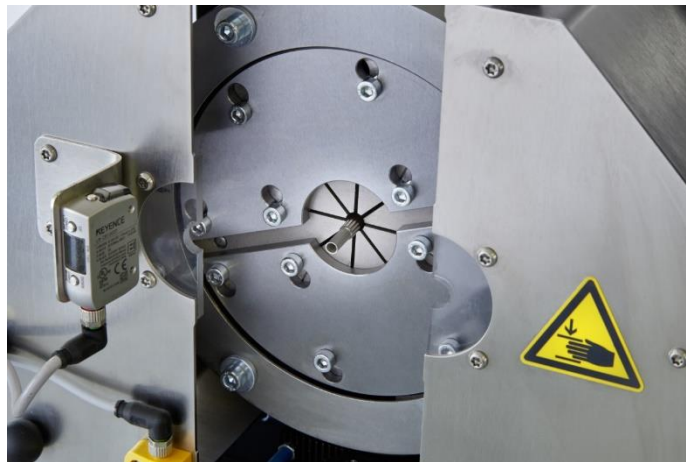


Figur 5 – Schematisk beskrivning av rotatiopressning komponenter (Philipp Group, 2012)

2.4 Risker och säkerhet

Precis som alla andra bearbetningsprocesser, har kall rotatiopressning sina risker och skyddsåtgärder (Arbetsmiljöverket, 2023). Här nedan nämns några risker och skyddsåtgärder som bör tas hänsyn till vid användning av rotatiopressning:

- **Skador på händer och fingrar:** rotatiopressning kan medföra skador på grund av sin höga rotationshastigheter, vilket kan medföra allvarliga skador på vissa delar av kroppen. Användning av rätt skyddsutrustning som handskar och skyddsglasögon kan minimera risken för personliga skador.
- **Klämrisk:** rotatiopressning inkluderar rörliga delar och på grund av detta skall lösa kläder och smycken inte användas. Anledningen till det är för att kläderna inte ska fastna i maskinen under drift.
- **Utbildning:** se till att alla som använder denna maskin är rätt utbildade och medvetna om hur maskinen används samt känna till de olika funktionerna i maskinen för att undvika olyckor och skador.
- **Brandrisker:** se till att omgivningen är fritt från brännbart material för att motstå bränder. En effektiv lösning är att ha brandsläckare för att minska skador på både personalen och utrustningen.
- **Nödstopp:** alla bearbetningsprocesser har en nödstopp knapp för att på ett snabbt och tydligt sätt kunna stänga av maskinen i relation av en nödsituation.



Figur 6 – klämrisk (Fichter – formtec GmbH, u.å.)

2.5 Rotatiopressningsegenskaper

Rotatiopressning har blivit mer populära idag på grund av sina unika och värdefulla egenskaper. Här nedan nämns några av de viktiga egenskaperna som rotatiopressning kännetecknas för (Eberhard R & Volter S, 1992):

1. **Precision och noggrannhet:** rotatiopressning ger precisa och exakta former utefter vad som förväntas att uppnå i diameter och mått.

2. **Materialbesparing och resurseffektiv:** rotationspressning bidrar till en resurseffektiv produktion genom att minimera avfallshantering och materialspill, vilket innebär att materialen används noggrant och på ett effektivt sätt. Ett annat effektivt sätt är att det inte finns behov av att efterbearbeta arbetsstycket.
3. **Snabbhet:** rotationspressning är både snabb och tidseffektiv process som kan vara lämplig för massproduktion.
4. **Hållfasthet:** det bearbetande materialet bibehåller sina specifika mekaniska och fysikaliska egenskaper under bearbetningen, vilket innebär att materialet inte förlorar dessa egenskaper utan de förbättras. Detta orsakas med hjälp av deformationen som sker vid kallbearbetningen.
5. **Mångsidigheten:** denna bearbetningsprocess kan bearbeta en mängd olika metalliska material och varje metall är specificerad efter olika tillverkningsindustrier.



Figur 7 – Arbetsstycket före och efter bearbetningen av rotationspressning (Yang L & Jing L, 2020)

2.6 Rotationspressnings i tillverkningsindustrier

Det finns många tillverkningsindustrier som använder sig av rotationspressningsprocessen. Det som gör denna metod unikt är att den kan bearbeta en mängd olika material, vilket gör att den ger mångsidiga lösningar. Det finns många aspekter företagen tar hänsyn till som exempelvis, miljöpåverkan, minimering av avfall och korta bearbetningstider för att öka produktionstakten (Eberhard R & Volter S, 1992). Nedan kommer det att nämnas några specifika tillverkningsindustrier som använder sig av rotationspressningsprocessen och som tar nytta av denna metod (Qi Z et al., 2014):

1. **Fordonsindustri:** rotationspressning används i fordonsindustrier för att forma det bearbetande materialet till önskad form genom att slå eller pressa upp arbetsstycket. Denna metod är lämplig att använda vid tillverkning av drivaxlar, rotationsaxlar och även motoraxlar för elektriska fordon.



Figur 8 – Drivaxel (Felss, u.å.)

2. **Flygindustri:** rotatiopressning används även i flygindustrier för skapande av komplexa ytor och formgivande detaljer. Med denna bearbetningsprocess kan det tillverka flygplanskomponenter med komplexa geometrier. Noggrannhet och säkerhet med tillverkning av flygplanskomponenter är avgörande faktor för att klara av höga ansträngningar. Här är rotatiopressning användbar för tillverkning av styrstänger, vätskeöverföringsslangar och även motoraxlar.



Figur 9 – Styraxel (Felss, u.å.)

3. **Militärindustri:** rotatiopressning används vid militärindustrier för skapande av komponenter där hållfasthet och noggrannhet är i fokus. Pansarvärnsraketspetsar och kanonrör är två olika komponenter som brukar tillverkas med hjälp av rotationspressningsprocessen.

2.7 Alternativa bearbetningsprocesser

2.7.1 Trycksvarvning

Trycksvarvning även känt som metalltryckning är en kall bearbetningsprocess som används för att plastiskt bearbeta en mängd olika metaller. Denna metod är både snabb och effektiv liksom rotationspressningsprocessen. Trycksvarvning är lämpliga för tillverkning av symmetriska och tunnväggiga produkter. Metoden bearbetas genom formning av plåtar och rör under rotation och hårt slag/tryck mot det bearbetande materialet. Trycksvarvning är lämplig för tillverkning av små serier där initialkostnaden blir låg. Några material som är lämpliga för bearbetning av denna process är: aluminium, mässing, koppar, silver, rostfritt stål och järn (Hermanders AB, 2007). (Se tabell 1) nedan för material tjocklekar som fås med hjälp av denna metod:

Tabell 1 – Olika tjocklekar för olika material (Hermanders AB, 2007)

Material	Tjocklek
Aluminium	0,40 – 15 mm
Järn	0,40 – 10 mm
Rostfritt stål	0,40 – 6 mm
Mässing	0,50 – 10 mm
Silver	0,40 – 12 mm
Koppar	0,40 – 10 mm

Några produktexempel på denna typ av bearbetning kan inkludera, Kona, fat och parabol.



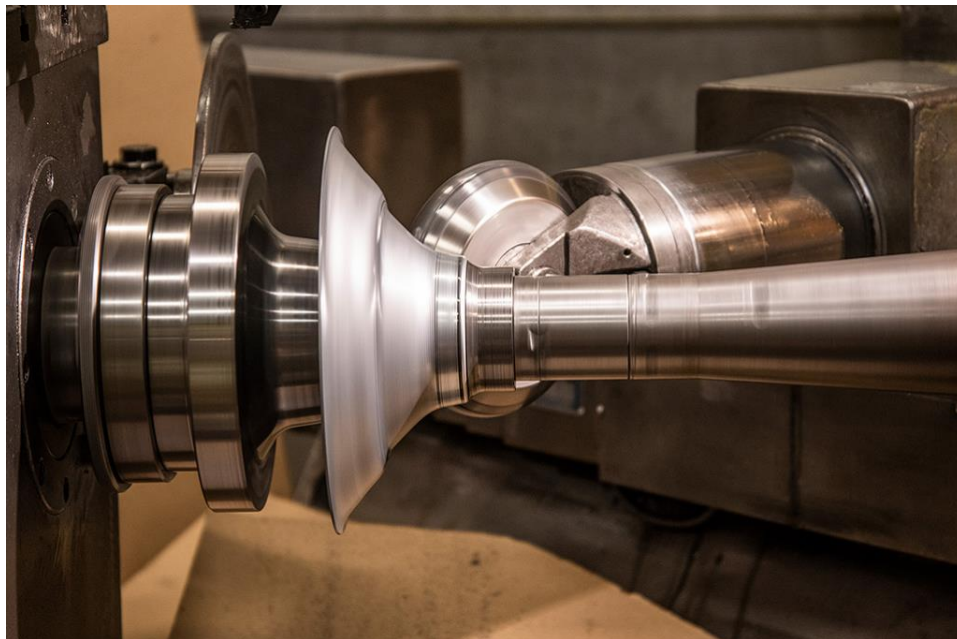
Figur 10 – produkter framtagna från trycksvarvning (Hermanders AB, 2007)

Här nedan beskrivs några likheter respektive skillnader mellan rotatiopressningsprocessen och trycksvarvningensprocessen:

Tabell 2 – Jämförelse mellan rotatiopressning och trycksvarvning

Bearbetningsprocess	Industriella applikationer	Exempel på användningsområden	Jämförelse av bearbetningsprocesserna
Rotatiopressning	Tillverkning av rör och stänger	Fordon, flyg och militärindustri	Snabb och tidseffektiv som används också för tillverkning av rotationssymmetriska delar. Används för massproduktion
Trycksvarvning	Tillverkning av rör och plåtar	Fordon, flyg, rymd och elektronikindustri	Snabb och effektiv för att producera rotationssymmetriska delar. Används ofta för prototyper och lågvolymproduktion

Fördelarna med trycksvarvning är att den är flexibel vid val av material, denna bearbetning är även lämplig för stora serier inte bara små serier, hög precision och god ytfinish, ingen materialförlust likt rotatiopressning, låga verktygs- samt produktionskostnader jämfört med andra bearbetningsmetoder. Den största nackdelen kan vara materialbegränsning, vilket innebär att vissa material inte är lämpliga för denna typ av bearbetning (Metalltryckning AB, 2024)



Figur 11 – Trycksvarvning process (Hermanders AB, 2007)

2.7.2 Fräsning

Fräsning är idag ett vanligt förekommande skärande bearbetningsmetod som använder roterande skärande verktyg. Verktyget som de flesta fräsar använder kan lutas i många olika

riktningar medan det bearbetande ytan och/eller verktyget kan förflyttas i längdled, djupled och höjdled. Fräsning är en typ av kallbearbetning där det bearbetande materialet skärs eller formas vid rumstemperatur. Det är en mångsidig metod som gör att den kan bearbeta en mängd olika material, inklusive stål, rostfritt stål, plast, trä och kompositmaterial. Det finns många olika typer av fräsning. Några vanliga typer som förekommer idag är: planfräsning, profilfräsning, fasfräsning samt CNC-fräsmaskiner. Varje typ av dessa har både sina för- och nackdelar och användningen av dessa beror på vilken applikation det används i (Sandvik Coromant, 2021) .



Figur 12 – Fräsning process (EuroSteel, 2023)

Några vanliga produkter som tillverkas av fräsningar kan inkludera, fordondelar som växellådor, kugghjul, kolvar samt cylinderhuvud. Här nedan beskrivs några likheter respektive skillnader mellan rotationspressningsprocessen och fräsningsprocessen:

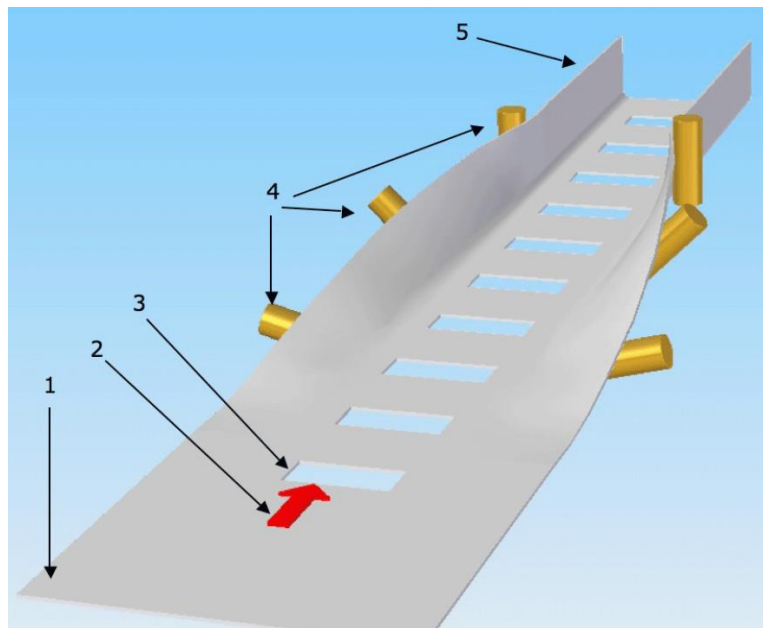
Tabell 3 – Jämförelse mellan rotationspressning och fräsning

Bearbetningsprocess	Industriella applikationer	Exempel på användningsområden	Jämförelse av bearbetningsprocesserna
Rotationspressning	Tillverkning av rör och stänger	Fordon, flyg och militärindustri	Snabb och tidseffektiv som används också för tillverkning av rotationssymmetriska delar. Används för massproduktion
Fräsning	Skapande av komplexa ytor och formgivning av detaljer	Tillverkning av flygplanskomponenter och fordonskomponenter med komplexa geometrier	Mångsidig metod. Används för både prototyper och massproduktion.

Fördelarna med fräsning är att den ger hög precision och noggrannhet likt rotationspressning, kan bearbeta väldiga komplexa och svåra geometrier och samt att kan bearbeta en mängd olika material. Några av de nackdelarna med denna metod är att den kan vara tidskrävande vid bearbetning av stora serier och fräsmaskiner är väldigt dyrbara att både köpa samt underhålla (Peter B, 1994).

2.7.3 Kallformning

Kallformning är en kall bearbetningsprocess som arbetar med material vid rumstemperatur. Processen sker utan någon värmebehandling vilket leder till arbetsförhärdning av det bearbetande materialet och detta i sin tur ökar på materialets hållfasthet, styrka samt andra mekaniska egenskaper. Denna bearbetningsprocess brukar böja materialet kontinuerligt till en specifik form. Det materialet brukar passera genom en serie rullstationer (Se bild 13). Dessa rullstationer gör en form av böjning var och en för sig tills materialet får den önskade formen. Denna metod används vanligtvis vid tillverkning av långa längder och vid stora serier. Låglegerade stål, rostfritt stål, aluminium och dess legeringar, koppar och järn är några vanliga förekommande material som är lämpliga att använda vid denna metod. Anledningen för detta är främst för att de kan genomgå plastisk deformation vid rumstemperatur (Groover, Mikel P, 2010).



Figur 13 – Böjning längs rullar (Wikipedia, 2007)

Tabell 4 – Några typer av smörjmedel, deras bruk samt material vid kallformning (Wikipedia, 2022)

Material	Typ av smörjmedel	Tillämpningar/bruk
Järn	Vattenlösliga oljor	Avtorkning, dropp, spray
Rostfritt stål	Klorerade oljor eller vaxer	Avtorkning av rulle
Planerade ytor	Plastfilm	Kalandrering, täckning, sprutning
Stål	Oljebaserade smörjmedel	Avtorkning, dropp, spray

Här nedan beskrivs några likheter respektive skillnader mellan rotationspressningsprocessen och rullformningsprocessen:

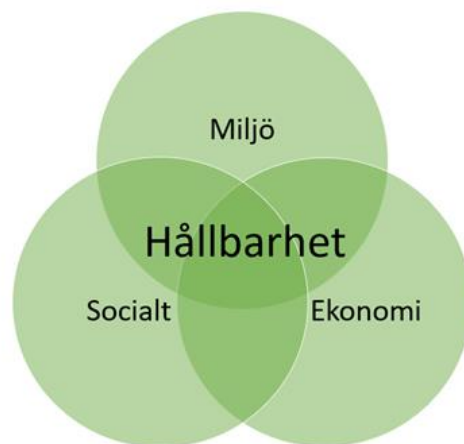
Tabell 5 - Jämförelse mellan rotationspressning och rullformning

Bearbetningsprocess	Industriella applikationer	Exempel på användningsområden	Jämförelse av bearbetningsprocesserna
Rotationspressning	Tillverkning av rör och stänger	Fordon, flyg och militärindustri	Snabb och tidseffektiv som används också för tillverkning av rotationssymmetriska delar. Används för massproduktion
Rullformning	Tillverkning av rör och profiler	Bygg och fordonsindustri	Mångsidig metod. Det är också en snabb och tidseffektiv som används för tillverkning av rullformade komponenter. Används också för massproduktion

De flesta fördelarna med denna metod är precis som rotationspressning, vilket inkluderar korta bearbetningstider och noggrannhet, minskning på materialspill, minskning på energiförbrukning, lämplig för tillverkning av stora serier och att komponenterna har god hållfasthet och släta ytor. En stor nackdel med denna rullformning kan vara att deras maskiner samt verktyg är betydligt dyra (Steel Products, 2021).

2.8 Hållbar utveckling

Idag har tillverkningsindustrierna en viktig och ledande roll för alla individer på vår planet. Dessa industrier erbjuder oss inte bara jobb och tillverkning av produkter och tjänster, utan dess påverkan kan sträcka sig över flera områden, inklusive miljö och ekonomi. Enligt energimyndigheten visade en statistik att tillverkningsindustrierna har ungefär spenderat 40% av Sveriges totala energi de senaste tio åren (Liza, 2023). Nedan ska det beskrivas och förklaras hur rotationspressning bidrar till en hållbar utveckling som bygger på tre olika dimensioner: sociala, ekologiska och ekonomiska hållbarheten. Det ska även förklaras och kopplas materialet stål som var avgränsad till att fortsätta med under detta arbete, baserad på hållbar utveckling.



Figur 14 – Hållbarhets tre viktiga grundstenar(Johansson, L. 2021)

2.8.1 Social hållbarhet

Rotationspressningsprocess kan främja social hållbarhet genom att säkerställa att alla medarbetare i ett specifikt företag är ordentligt utbildade, vilket leder till att de kan använda rotationspressnings maskiner som är tillgängliga på ett säkert sätt. Rotationspressning är bättre att använda vid tillverkning och bearbetning av rotationsaxlar för elbilar jämfört med andra bearbetningsprocesser. Första faktorn är för att den inte genererar gnistor och då minskar risken för brand eller explosion. Andra faktorn är för att den kan ha lägre vibrationer med tanke på att bearbetningsprocessen arbetar kontinuerligt och arbetsverktygen är rätt balanserade. Detta kan öka säkerheten och minska antal arbetsolyckor, och det i sin tur leder till en mer bekväm arbetsmiljö för medarbetarna (Gupta, K., 2020).

2.8.2 Ekologisk hållbarhet

Rotationspressning bidrar till ekologisk hållbarhet på flera olika sätt. Med tanke på att den är en kallbearbetningsprocess, då kräver den mindre energiåtgång än varma bearbetningsprocesser. Fokuset inom denna grundsten går ut på att försöka mycket som möjligt att minimera mängd

avfall och använda energin på ett hållbart sätt. Det som kännetecknar rotationspressning är att den inte genererar någon avfall jämfört med andra bearbetningsprocesser eftersom den arbetar exakta och effektiva former av material, vilket i sin tur minskar på materialspill (Gupta, K., 2020).

Ekologisk hållbarhet har även varit en viktig del av vårt arbete. Det vill säga materialet kan ha valts till stål för en mängd olika anledningar som i sin tur relaterades till både ekologiska och ekonomiska hållbarhet. Stål har både sina för- och nackdelar när det gäller miljön, beroende på hur den hanteras, bearbetas, återvinns och återanvändas. En av fördelarna som stål har är att den är hållbar och kan återvinns och återanvändas flertal gånger utan att förlora sina mekaniska eller fysikaliska egenskaper. En av nackdelarna med stål är att den kräver tillräckligt med energi, Detta i sin tur inte är bra för att energin inte är hållbart producerad (Kalpakjian, Schmid & Vijay Sekar 2010).

2.8.3 Ekonomisk hållbarhet

Rotationspressningsprocess anses vara kostnadseffektiv och bidrar till långsiktiga ekonomiska framgång. När det gäller rotationspressningsmaskiner brukar de ha lång livslängd, vilket betyder att de håller under lång period av användning. Denna bearbetningsprocess bruka bearbeta med hög precision och noggrannhet, vilket minskar behovet av efterbearbetning, och detta i sin tur leder till kostnadsbesparingar på både tid och pengar (Ghaei et al., 2007).

Val av material har varit en avgörande faktor med tanke på den ekonomiska hållbarheten. De positiva aspekterna med stål som togs hänsyn till är den låga kostanden att köpa in, miljöpåverkan samt att den bruka ha lång livslängd. Andra aspekter som togs hänsyn till är även återvinning och återanvändning av stål (Jernkontoret, 2019).

3. För- och nackdelar med rotatiopressning

Rotatiopressningsprocess har många för- och nackdelar som är nödvändiga att känna till. Nedan beskrivs några vanliga för- och nackdelar (Eberhard R, Volter S, 1992) och (Ghaei et al., 2007):

3.1 Fördelar med rotatiopressning

- **Korta bearbetningstider:** jämfört med andra bearbetningsprocesser, är rotatiopressning en snabb och tidseffektiv metod, som möjliggör kortare produktionscykler och bearbetningstider.
- **Noggrannhet:** rotatiopressning kan bearbeta metallrör, stänger eller rotationsaxlar med hög noggrannhet.
- **Mångsidighet:** rotatiopressning kan bearbeta en mängd olika material. Stål, rostfritt stål, aluminium, mässing och koppar är exempel på material som kan bearbetas med hjälp av denna bearbetningsprocess. Dessa material kan även vara lämpliga för en mängd olika applikationer.
- **Hög kvalitet :** de flesta bearbetningsprocesser medför produkter med grov ytfinish, tillskillnad från rotatiopressning ger det högkvalitativa ytfinish och snäva toleranser.
- **Materialförlust:** rotatiopressningsprocess ger ett minimalt materialförlust jämfört med andra tillverkningsmetoder. Detta är på grund av att det bearbetande materialet formas och ändras till en önskad form.
- **Förbättrade kornstrukturer och produktkvalitet:** genom användning av denna metod, kan vissa mekaniska egenskaper som hårdhet och styrka förbättras.

3.2 Nackdelar med rotatiopressning

- **Kostnader och underhåll:** rotatiopressning maskiner kan vara dyra att köpa in samt underhålla. Detta gör det inte lämpligt för små tillverkningsindustrier och företag som har mest fokus på tillverkning av mindre samt små volymer.
- **Ökad energiförbrukning:** rotatiopressning maskiner kan kräva mycket energi på grund av det bearbetande materialet som brukar deformeras genom tryck och kraft. Dessa maskiner kan kräva mycket starka och stabila motorer för att få önskade diameter och måttoleranser på exempelvis en rotationsaxel. Energiförbrukningen under denna bearbetningsprocess leder till höga kostnader och påverkar miljön på ett negativt sätt jämfört med andra bearbetningsmetoder.
- **Säkerhet:** som det nämnts tidigare kan medarbetarna utsättas för klämrisker, skärrisker och många andra skador om inte tydliga instruktioner följs.
- **Begränsningar på material:** vissa material är mindre lämpliga för att bearbetas via rotatiopressningsprocessen. Några exempel på dessa material, inkluderar glas,

keramer, gummi och vissa typer av plaster. Det är svårt att bearbeta dessa material med kall rotatiopressning för att de kan spräckas på grund av höga tryck och krafter.

- **Avancerad form och storlek:** rotatiopressning är begränsad för att bearbeta specifika diameter på former och storlekar. Detta innebär att det kan vara svårt att bearbeta komplexa och avancerade geometrier och mönster.
- **Verktygslitage:** verktygsslitage kan ske på grund av höga krafter och tryck som maskinen utsätts för. Detta leder däremot också till massa kostnader.

4. Metod och genomförande

I denna del beskrivs utförligt vilka metoder som har använts och hur dessa metoder har tillämpats för modellering och simulering av rotationspressningsprocessen.

4.1 Materialval

Utvärdering av material är en viktig fas vid rotationspressningsprocessen för att uppnå målen vid tillverkning av motoraxlar för elektriska fordon. Denna fas bör delas upp i olika kategorier med syfte att säkerställa att materialet väljs rätt. Några av aspekterna som ingenjörerna bör tänka på och tar hänsyn till är funktionella krav, kostnad, miljöpåverkan samt tillgänglighet av material.

Funktionella krav refererar till de specifika funktioner som den tillverkade produkten ska ha och vilka krav och önskemål ställs på materialet. Andra aspekten är material kostnad och detta innebär att välja ett rätt material som säkerställer att det är prisvärt och uppfyller de uppsatta målen. Tredje aspekten är miljöpåverkan och detta är en viktig del vid materialval, vilket innebär att välja miljövänliga samt hållbara material för att minimera miljöpåverkan. Sista aspekten är tillgänglighet av material, denna fas är ganska viktig vid tillverkning av produkter för att säkerställa en kontinuerlig tillverkningsprocess (DeGarmo, Black & Kohser 1988).

Under arbetsgången har två olika material diskuterats och jämförts, vilka är stål och rostfritt stål. Dessa två material är några olika konstruktionsmetaller som används inom bland annat flygindustrin, militärindustrin och framför allt fordonsindustrin (Jernkontoret, 2019).

Tabellen nedan hänvisar och förklarar till fysikaliska egenskaper mellan både stål och rostfritt stål. Detta har gjorts för att förstå skillnaderna mellan materialen och redogöra för vilket material som valdes att gå vidare med till både hammaren och arbetsstycket under simuleringen. Varför material är viktigt, är för att matcha simuleringens krav med materialets fysikaliska egenskaper som visas i tabellen nedan. Det är viktigt att tilldela rätt material på både hammaren och arbetsstycket för att se hur dessa parter presenterar tillsammans. Val av material presenteras mer under nästa kapitel.

Tabell 6 – Fysikaliska egenskaper för stål och rostfritt stål (Ansys Granta EduPack 2021)

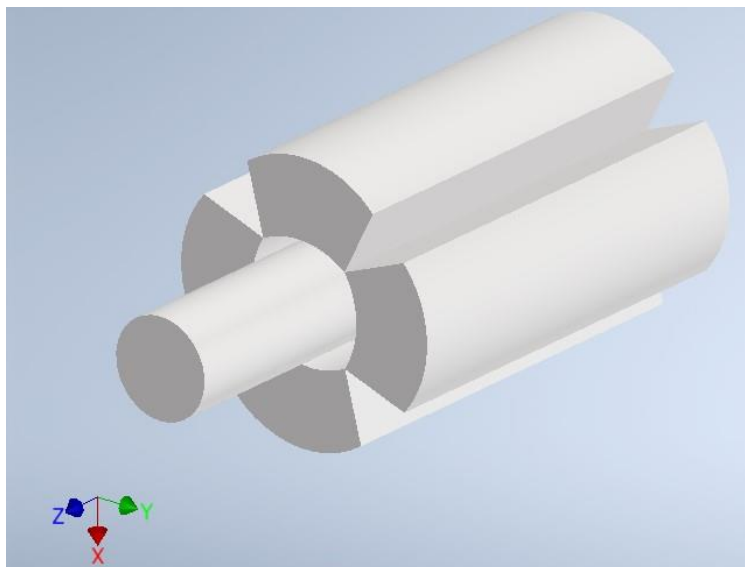
Parametrar:	Stål	Rostfritt stål
	Värde/enhet	Värde/enhet
Elasticitetsmodul	215 GPa	200 GPa
Densitet	7830 kg/m ³	8000 kg/m ³
Sträckgräns	376 – 929 MPa	200 400 MPa

Possions tal	0,3	0,3
Tillåten spänning	295 – 483 MPa	250 MPa

4.2 CAD-modellering

CAD står för ” Computer-Aided Design”. Autodesk Inventor används inom ingenjörbranschen för att designa allt från enkla maskindelar till komplexa maskiner och även i syfte med solidmodellering. Autodesk Inventor hjälper till bland annat skapa tredimensionella modeller samt 2D-ritningar. Att arbeta med detta mjukvaruprogram är populärt idag inom bland annat tillverkningsindustri, produktdesign, mekanikkonstruktion och husdesign. Ingenjörer, arkitekter, spelutvecklare och produktutvecklare är några exempel på yrkesgrupper som använder sig av CAD (Johannesson et al, 2004).

En CAD-modell inom rotatiopressning skapades i Autodesk Inventor (Se figur 14). Det var inga krav på att följa specifika steg eller mått, Därför valde modellens dimensioner att ungefär efterlikna fysiska rotatiopressningsprocessen. Detta gjordes för att göra FEM-analyser på en annan mjukvara känt som Abaqus CAE.



Figur 15 – En CAD- modell av rotatiopressningprocess i Autodesk Inventor

4.3 Analytiska beräkningar

En amplitudkurva tillåter att tidsvariationer eller frekvensvariationer för laster, förskjutningar och andra storheter under en specifik tid (stegtid) eller under hela simuleringen (total tid). Däremot kan en amplitudkurva vara en typ av en matematisk funktion exempelvis en sinus-

eller cosinus variation. Två olika typer av amplituder användes under simuleringen av rotationspressningsprocessen. En periodisk och en tabular amplitud. Med den periodiska definitionsmetoden menas det att beskriva en viss variabel som upprepar sig i jämna intervall över tiden. Däremot beskriver en tabular amplitud hur svängningarna förändras för en belastning över tid (Abaqus Inc, 1978). Det har gjorts hand- och analytiska beräkningar av den periodiska amplituden med formeln nedan (Se bilaga 4). För den tabular amplituden (Se figur 27), matades in olika tidsintervall och frekvenser.

$$a = A_0 + \sum_{n=1}^N [A_n \cos n\omega (t - t_0) + B_n \sin n\omega (t - t_0)] \text{ for } t \geq t_0,$$

$$a = A_0 \text{ for } t < t_0,$$

4.4 FEM-modell

FEM står för finita elementmetod, är en numerisk metod som används idag inom många ingenjörsområden inom hållfasthet, strömningslära och även elektromagnetism (Nationalencyklopedin, 2023). Detta görs med syfte att lösa både linjära och icke linjära differentialekvationer samt modellera komplexa former. Det är en viktig metod som används för att lösa många beräkningar som inte går att lösa analytiskt. FEM är ett ingenjörsvärkttyg som används tillsammans med CAD för att göra analys av tekniska konstruktioner (Zahavi, 1992). Det används även för att kontrollera både spänningsfördelning och deformation hos komplexa geometrier. Inom FEM-simuleringen brukar CAD-modellen delas upp i flera noder och element som däremot formar en mesh. Därefter kör programmet och räknar de kritiska spänningar samt deformationer som är i fokus (Abaqus Inc, 1978).

Under detta projekt används FEM-simulering av rotationspressning i Abaqus CAE. Syftet med att simulera rotationspressningsprocessen i Abaqus är att avgöra många aspekter, exempelvis vikt, kostnader och även materialval. Huvudsyftet med att använda digitala verktyg i konstruktionsprocessen är att spara både tid och kostnader. Fördelen med detta är att tidigt upptäcka och åtgärda fel, vilket minskar risken för problem innan investeringar görs i en bearbetningsprocess.

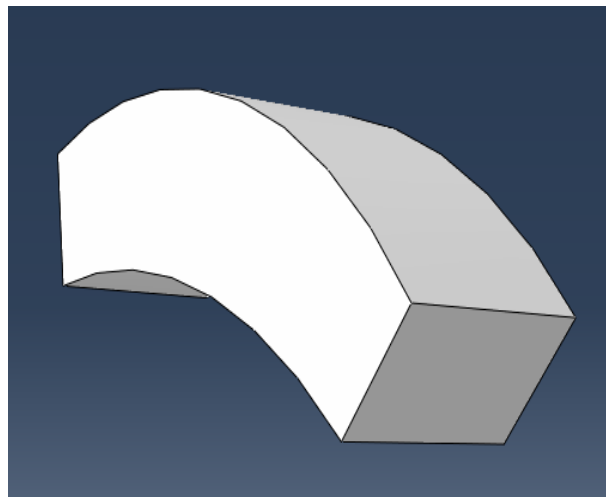
Vid denna simulering har en metod kallad explicit metod använts. Denna metod är främst avsedd för att simulera problem med olinjäritet, som kontaktytor samt stora deformationer. Metoden beräknar olika krafter och rörelser baserat på tidigare händelser, utan behov av att lösa komplexa och linjära ekvationssystem som andra metoder i FEM kräver. Några fördelar med denna metod är att den är både snabb och tidseffektiv för simuleringar av till exempel kraschtester, kontakter och explosionstester (Abaqus Inc, 1978).

Syftet med att visa resultat av både spänningar och deformation leder till exempelvis olika aspekter, bland annat identifiera kritiska och svaga punkter i modellen, optimera designmodellen genom att ändra på exempelvis mått och form samt att bestämma rätt material.

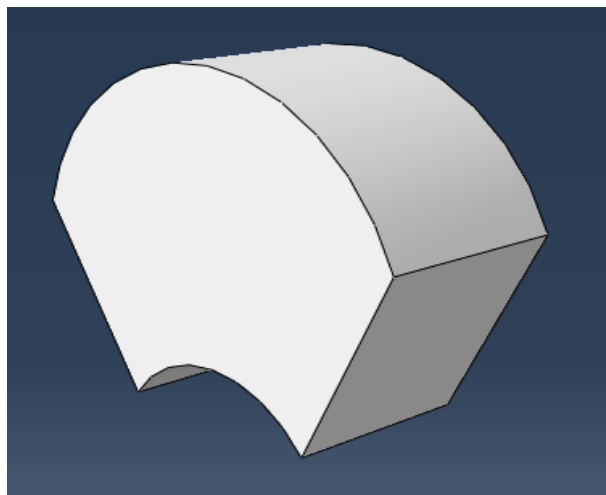
Nedan följer de viktiga steg som genomförts under simuleringen av rotatiopressningsprocessen:

4.4.1 Geometri

Arbetet börjades med att skapa två separata modellgeometrier i Abaqus CAE, för att kunna utföra simuleringen. Båda modellerna skapades som en 3D solid-modell. Enheterna och modellernas dimensioner som användes under denna simulering var givna i meter (m). Parterna representerar en enkel ritning av hammare och arbetsstycke av rotatiopressning, för att illustrera interaktion genom simuleringen.



Figur 16 – Geometri på hammare



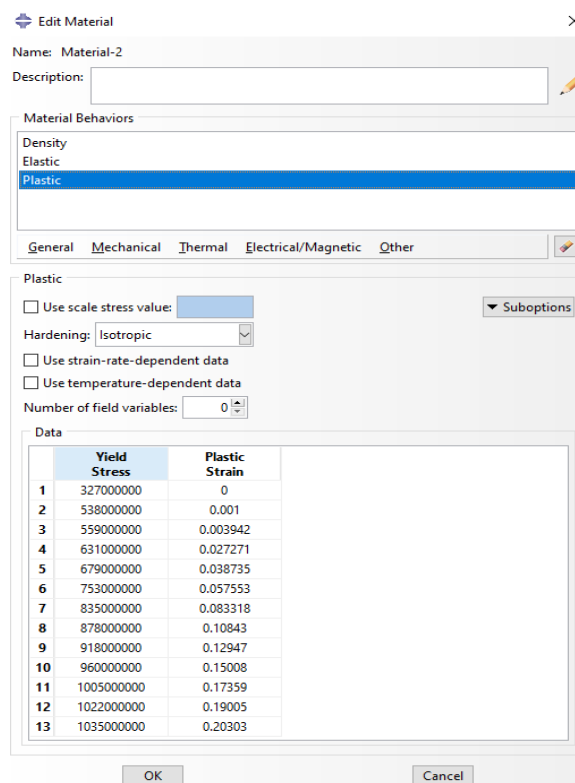
Figur 17 – Geometri på arbetsstycke

4.4.2 Material

Nästa steg efter att hammaren och arbetsstycket hade skapats var att tilldela material. Samma material tilldelades för både parterna och materialdata som användes under simuleringen är

samlad från internet och kurslitteratur. Materialet som användes var stål med elasticitetsmodul $E = 215 \text{ GPa}$ och poissons tal $\nu = 0.3$. Däremot hade materialet en densitet som motsvarade 7830 kg/m^3 . Analysen som utförs använder isotropisk härdning för material tilldelning av både hammaren och arbetsstycket.

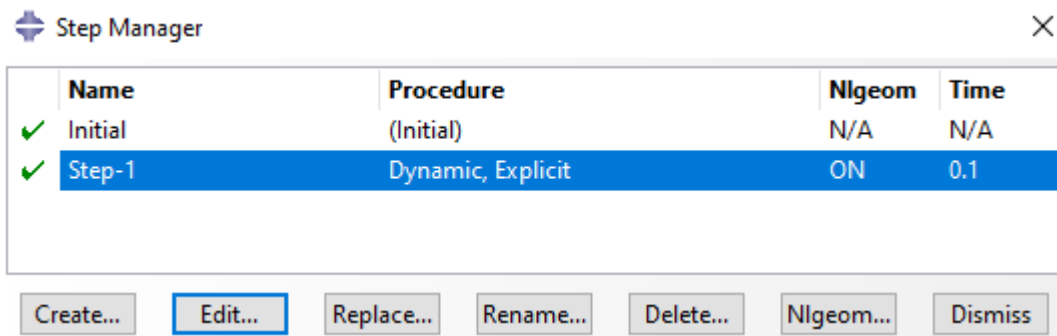
Hammaren valdes till elastiskt under simuleringen, detta gjordes för att den ska genomgå elastisk deformation. Detta innebär också att hammaren inte ska förändras även under olika belastningar och återgår till sin ursprungliga form efter att belastningen avlägsnats. Arbetsstycket valdes till elastisk-plastisk för att den förväntas att genomgå både elastiska och plastiska deformationer. För arbetsstycket användes några gränsspänningar som togs hänsyn till vid materialtilldelning. (Se bilaga 5) som visar en graf av spänning och plastisk töjning. Detta gjordes för att bestämma när och hur arbetsstycket börjar deformeras. Nedan visas de olika gränsspänningar tillsammans med den plastiska töjningen för den arbetsstycket.



Figur 18 – plasticitet för arbetsstycke

4.4.3 Step

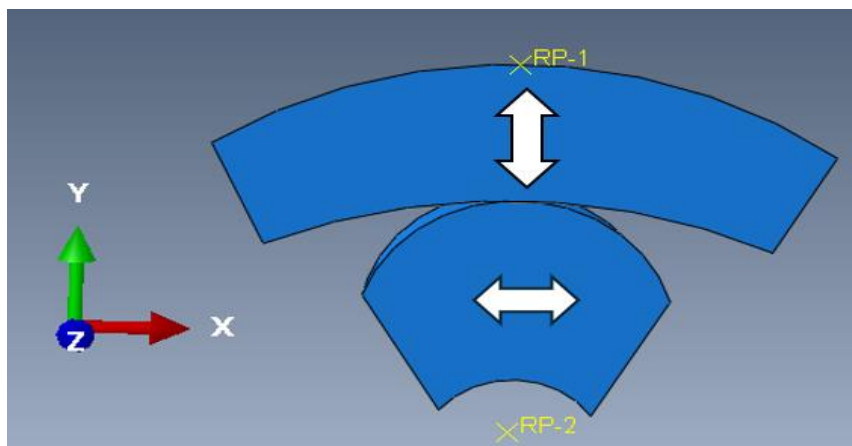
Efter att materialet valdes för båda parterna, var nästa steg att välja vilken procedure typ analysen ska bygga på. Explicit metod användes från hela början av simuleringen, därför valdes Dynamics, explicit till att fortsätta med. Val av denna metod gör det möjligt att snabbt få fram resultat. Genom figuren nedan visas tidssteget inför denna simulering som har valts att vara litet för att kunna visa de dynamiska samt spänningsfördelningarna som sker.



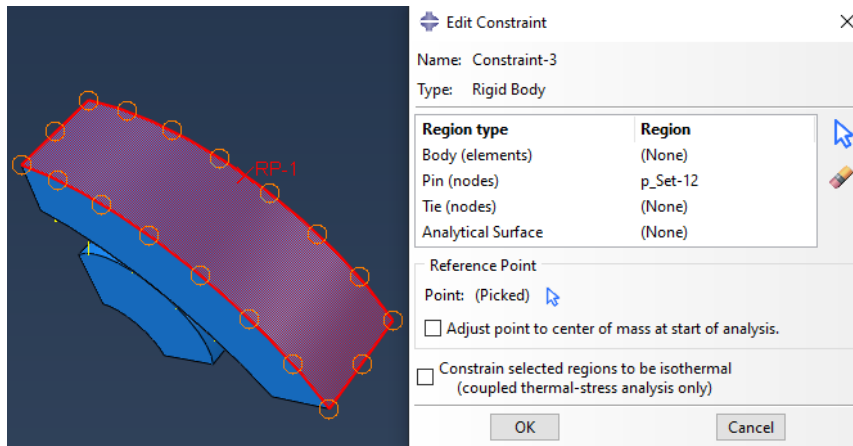
Figur 19 – Här visas både Procedure typ och tid för simuleringen

4.4.4 Interaktioner

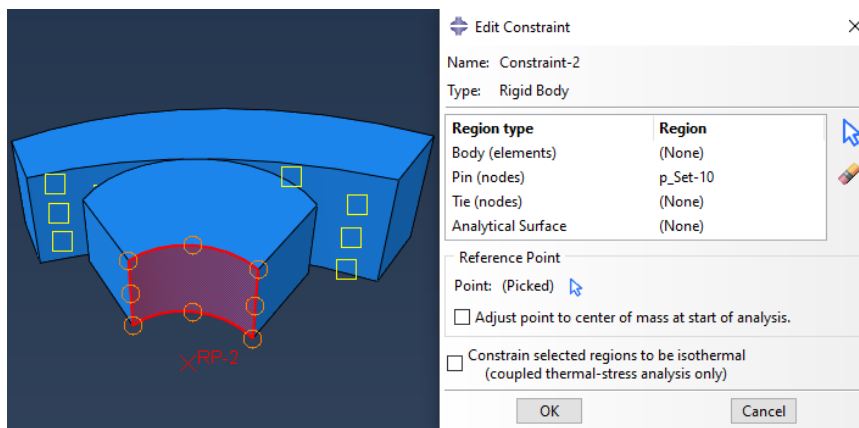
För att fortsätta arbetet var det viktigt att ange kontaktattribut mellan dessa två ytor. Det valdes att skapa två begränsningsmetoder med samma typ "Rigid Body" med två olika region typer. För hammaren valdes att koppla toppen ytan med pin constrain, som gör det lättare för hammaren att studsas. Medan för arbetsstycket valdes att koppla botten ytan med tie constrain, för att möjligtvis få en rotation. Det har även skapats två olika referenspunkter med tanke på att koppla de till toppen av hammaren och botten av arbetsstycket. Genom pilarna i (figur 20) visas den överdelen (hammare) som kommer i uppgift att slå på den nederdelen (arbetsstycket) som i sin tur kommer att rotera en viss vinkel eller ett specifikt håll.



Figur 20 – Både referenspunkt 1 och 2

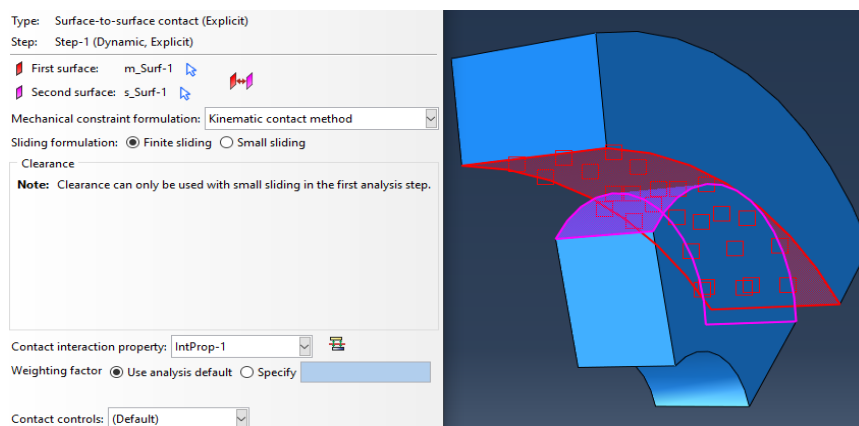


Figur 21 – Begränsningsmetod för referenspunkt 1



Figur 22 – Begränsningsmetod för referenspunkt 2

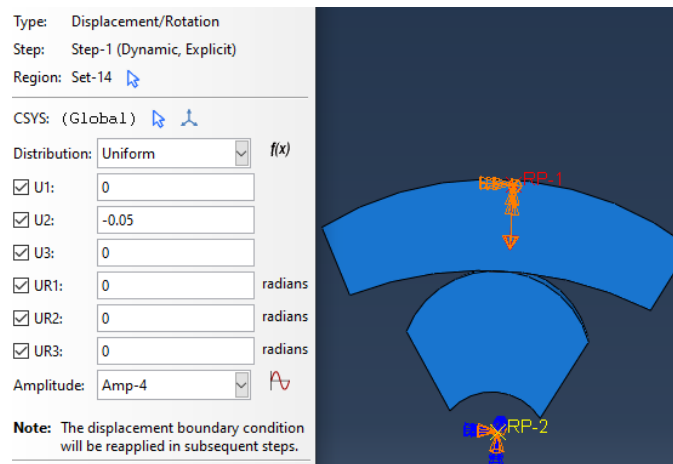
Se figuren nedan som illustrerar förhållanden och relationen mellan de två ytorna i modellen. Typen som har valts i interaktioner är ”surface-to-surface contact (Explicit)”. Där botten av hammaren valdes till master och toppen av arbetsstycket valdes till slave.



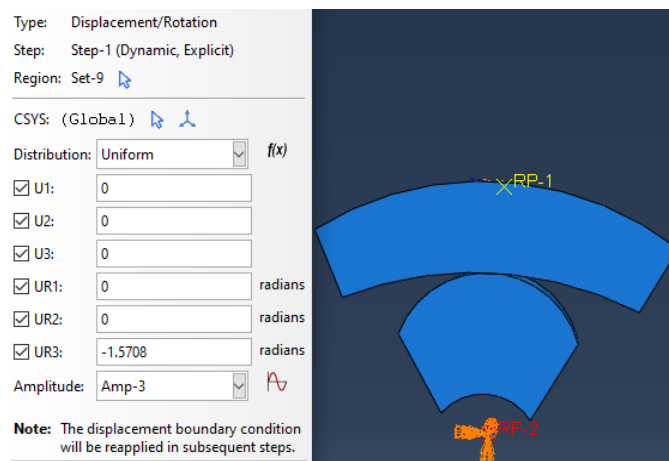
Figur 23 – Kontaktytan mellan hammare och arbetsstycke

4.4.5 Randvillkor och referenspunkter

Två olika randvillkor applicerades på referenspunkterna placerade på toppen av hammaren och botten av arbetsstycket. Båda randvillkoren valdes av typen "Displacement/Rotation". Det första randvillkoret, som gör att hammaren förflyttas -0.05 m, applicerades på referenspunkt 1 och sattes att verka i Y-led. Det andra randvillkoret var en rotationsvinkel som tillåter arbetsstycket att rotera cirka 90 grader, vilket motsvarar $-\pi/2 = -1.5708$ radianer. Detta randvillkor applicerades på referenspunkt 2 i UR3.



Figur 24 – Randvillkor i referenspunkt 1



Figur 25 – Randvillkor i referenspunkt 2

För att få dessa randvillkor och referenspunkter att fungera bör det finnas två olika amplituder. Det här skapats två typer av amplituder, där varje typ har sina egna specifikationer. Fokuset och syftet med dessa amplituder är först och främst att få hammaren att studsa och slå på arbetsstycket som kan rotera en viss vinkel. För hammaren valdes periodisk amplitud och för arbetsstycket valdes en typ av tabular amplitud. (Se bilaga 6) som visar en graf på hur den periodiska amplituden ser ut.

	A	B
1	0	0.5

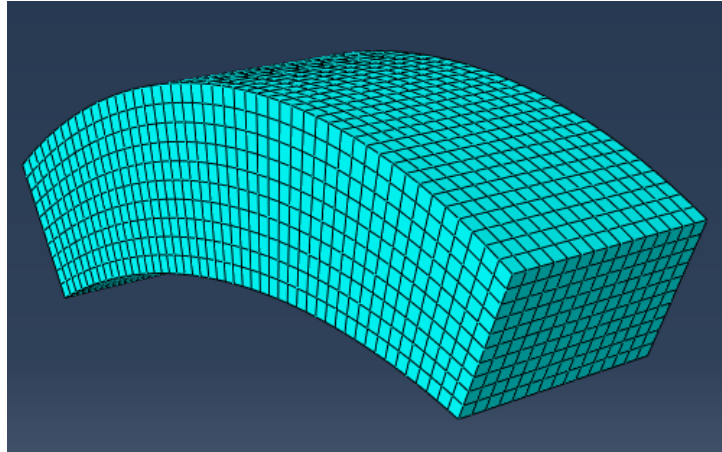
Figur 26 – Periodisk amplitud för referenspunkt 1

	Time/Frequency	Amplitude
1	0	0
2	0.016	-0.01
3	0.03	0.03
4	0.05	-0.05
5	0.07	0.06
6	0.09	-0.09

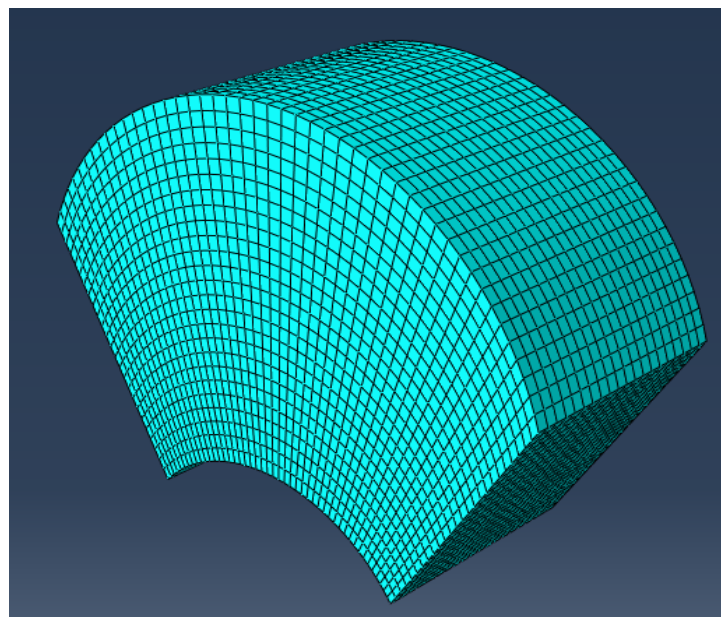
Figur 27 – Tabular amplitud för referenspunkt 2

4.4.6 Meshstudie

Mesh är det sista steget som utförs för att kunna se simuleringsresultaten. Explicit valdes av elementbibliotek, linjär fördelning samt 3D-stress som familj på både hammare och arbetsstycke. C3D8R är den valda elementtypen på mesh, eftersom den ger både bra kvalitet och låg kostnad i beräkningstiden. Däremot användes två olika elementstorlekar på parterna. För hammaren användes grov mesh med en element storlek på 0.02 m och den fick sammanlagt 7050st elements. Medan för arbetsstycket användes en finare mesh med en element storlek på 0.01m och den fick totalt 23 500st elements. Elementkontrollen på meshen använde formen ”Hex” och elementtekniken ”structured”.



Figur 28 – Mesh för hammaren



Figur 29 – Mesh för arbetsstycket

5. Resultat

Återgående till litteraturstudie och metoderna som definierades under kapitel 2 och 3 har resultaten presenterats i detta kapitel.

5.1 Sammanfattning av simuleringsresultat

Sammanfattning av simuleringsresultaten har delats in i flera delar:

- Resultaten av hela simuleringen visar att hammaren och arbetsstycket utsätts för spänningar som ligger inom materialets sträckgräns, det vill säga mellan 376 och 929 MPa.
- Simuleringen visar att inga överskattat höga spänningar och deformationer uppstår i arbetsstycket. Detta beror mycket på det valda materialets mekaniska samt fysikaliska egenskaper.
- Hammaren uppfyller uppsatta kraven genom att endast genomgå elastisk deformation, vilket betyder att belastningsfallet som definierades och simulerades inte utgjorde att hammaren gick till plastisk deformation.
- Arbetsstycket når också upp till uppsatta kraven, vilket genomgår plastisk deformation och formas enligt den önskade designen.
- Arbetsstycket har en stor säkerhetsmarginal och klarar sig mot brott och skador enligt simuleringen.
- Med hänsyn till avgränsningar har stål valts som material för både hammaren och arbetsstycket. Vilket har fungerat bra med hänseende till resultaten som genererats.
- Deformationerna som låg i centrumet av arbetsstycket visar sig vara acceptabla i relation till materialdata för stål.

Sammanfattningsvis har denna studie granskat de tekniska fördelarna med rotatiopressning, som förbättrade materialegenskaper, minskade produktionskostnader, cykeltider och utökade möjligheter för precisionsbearbetning. Analyserna av spänningsfördelningar och deformationer visade att rotatiopressning effektivt kan förbättra hållfastheten och ytfinheten på bearbetade komponenter, vilket överensstämmer i jämförelse med litteraturstudien som utfördes tidigt av projektet.

Företag bör använda denna bearbetningsprocess för att förbättra sina tillverkningsmetoder. Genom att investera i denna teknik kan företagen inte bara minska sina produktionskostnader och öka sina konkurrensfördelar, utan även förbättra produktkvaliteten och hållbarheten.

5.2 Materialval

Det valdes att gå vidare med materialet stål och anledningen till detta är på grund av några faktorer. Första faktorn går ut på att simuleringen av detta arbete är avgränsat av enbart stål. Andra faktorn är för att stål är en av de vanligaste och mest användbara material inom fordonsindustri. Tredje faktorn och med hjälp av (tabell 6–7) anses stål vara det mest lämpliga materialvalet inför simuleringen av rotationspressningsprocessen. Detta på grund av att stål har högre, elasticitetsmodul, sträckgräns samt den tillåtna spänningen än rostfritt stål. Stål är en legering som består av vanligtvis järn och kol, den är känd för sin styrka och hållbarhet. Det som hade en stor betydelse och som var den avgörande faktorn vid val av material var priset och tillgänglighet (Leijon 2014).

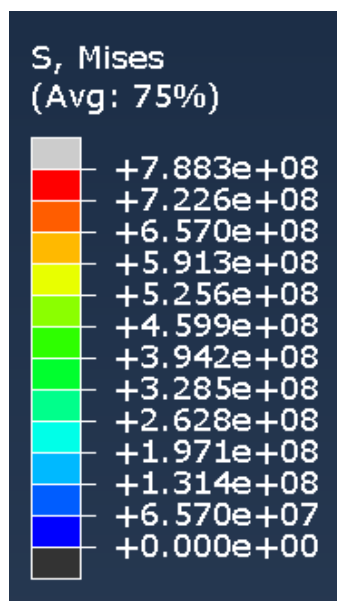
Här nedan visas några för- respektive nackdelar mellan dessa två material genom en tabellform:

Tabell 7 – Fördelar och nackdelar mellan stål och rostfritt stål vid bruk inom fordonsindustri (Jernkontoret, 2019):

Egenskaper:	Stål	Rostfritt stål
Hållfasthet	Bra	Bra
Vikt	Tungvikt	Lättare än stål
Korrosionsmotstånd	Kan utsättas för rost	Bättre korrosionsmotstånd än stål
Kostnad	Låg	Dyr
Återanvändning	Bra	Bra
Återvinning	Bra	Bra

5.3 Avläsning av simuleringsresultat i Abaqus CAE

Simuleringsresultat visas i en form av en tavla i Abaqus CAE i vänstra kanten. Tavlan består av en skala i en mängd olika färger och värden som representerar hur spänningar och deformationer delas upp i modellen. Däremot ger varje färg ett specifikt värde i en form av intervall (Se figur 30). Intervallet brukar exempelvis börja alltid med noll och avsluta där höga spänningar uppstår. Det vill säga det största värdet i skalan är där det mest uppstår spänningar och måste däremot utforskas medan lägsta värden är där det uppstår väldigt låga spänningar. Vid röda, gula och orangea färgerna i simuleringen är det där det uppstår kritiska spänningar, vilket betyder att spänningar och deformationer är höga, detta i sin tur kan leda till risk för brott eller skador på modellen. (Abaqus Inc, 1978)



Figur 30 – Exempel på simuleringstavla på Abaqus CAE

5.4 Simuleringsbakgrund

Efter att en fördjupad samling av litteraturstudien om rotationspressningsprocessen hade gjorts, var nästa steg att ta med den samlade information till att göra en simulering av själva processen i Abaqus CAE. Användningen av denna program ger en mängd olika fördelar. Första fördelen är programmets förmåga att hantera analyser som behandlar stora deformationer, kontakt, dynamik och även materialbeteende under plastiska deformationer. Simulering i Abaqus CAE är både kostnadseffektiv och tidssparande i jämförelse med att göra fysiska experiment som kräver mer tid och resurser. Viktiga områden kan upptäckas vid simulering, vilket är defekter, överdrivna höga plastiska deformationer och även materialfel. En annan fördel är att kunna förbättra och testa olika designform på både hammaren och arbetsstycket utan extra kostnader. Slutligen hjälper användningen av Abaqus CAE till minskning på miljöpåverkan, genom att minska både materialspill och energiförbrukning, som i sin tur leder till en mer hållbar produktion.

I denna simulering undersöks en hammare som slår på ett arbetsstycke under rotation. Hammaren har valts till elastiskt och arbetsstycket valdes till både elastisk-plastisk med tanke att det ska genomgå plastisk deformation. Huvudfokus ligger på att undersöka vad arbetsstycket utsätts för spänningar och deformation. Andra viktiga områden som undersöktes också var att se om arbetsstycket utsätts för ganska höga spänningar som leder till brott. Genom att fokusera på spänningarna och deformationerna i både hammaren och arbetsstycket kan en djupare förståelse fås för hur materialen beter sig under simuleringen och säkerställa att de klarar av de påfrestningar de utsätts för.

Huvudsyftet med simuleringen är att ändra arbetsstyckets form permanent. För att uppnå denna permanenta formändring måste materialet deformeras plastiskt. För att materialet ska genomgå plastisk deformation, måste den genomgå elastisk deformation först. Detta innebär att materialet behåller sin nya form efter att den applicerade belastningen har avlägsnats. Under

bearbetningen genomgår materialet deformationshärdning. Denna process ökar materialets hållfasthet och hårdhet, vilket förbättrar dess mekaniska egenskaper. Dessutom möjliggör plastisk deformation en hög grad av kontroll över arbetsstyckets slutliga form och storlek.

Anledningen till att hammaren valdes till elastiskt och arbetsstycket valdes till elastisk-plastisk under simuleringen var att återspegla deras roller i verkligheten. Hammaren har skapats med syfte att forma det bearbetande materialet och klara av de belastningar den utsätts för, vilket gör att den inte går sönder och har lång livslängd. Däremot skall arbetsstycket formas till andra former och deformeras permanent för att uppnå önskade och förväntade designform. Dessa steg har utförts för att simuleringen ska återspegla förhållandet mellan de två parterna i en process i verkligheten, för att uppnå korrekta och tydliga resultat.

Simuleringen undersökte även uppkomsten av olika typer av riskzoner som uppstår vid kalla bearbetningsprocesser, bland annat: sprickbildning, verktygslitage och även ojämnheter på arbetsstycket. Därför har en noggrann analys utförts på dessa riskzoner med hänsyn till dess relevans under rotationspressningsprocessen.

5.5 Resultat från FEM-simulering

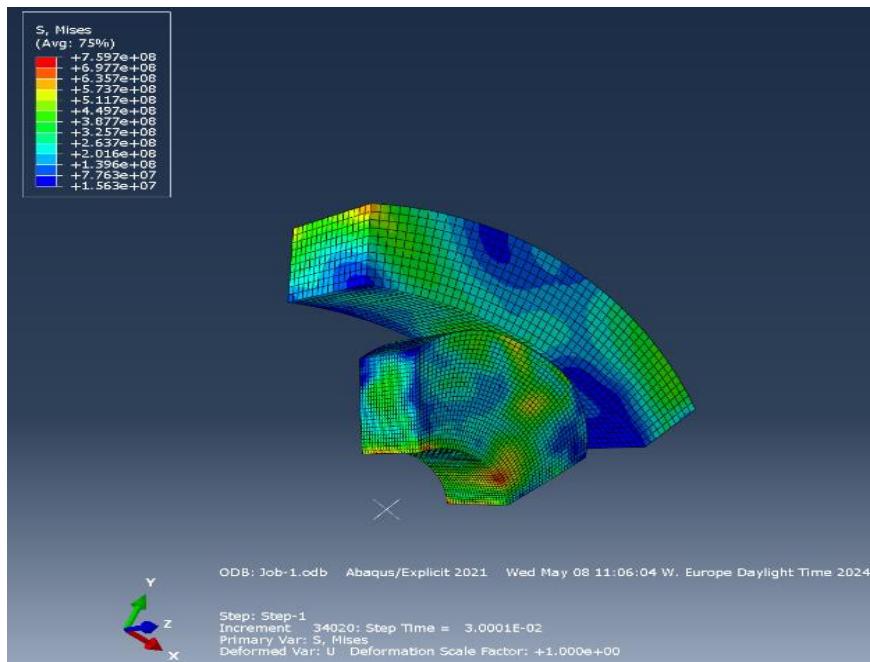
Nedan analyseras vårt simuleringsresultat med syfte att undersöka hur arbetsstycket beter sig i relation till hammarens slag. Med hänsyn till avgränsningar har fokus främst lagts på att visa resultaten av enbart effektivspänning (von Mises) och deformation. Genom att visa effektivspänning (von Mises) fås en tydlig bild av var materialet riskerar att spricka eller går till brott. Att visa deformationen ger oss insikt i hur arbetsstycket förändras under bearbetningen, vilket är avgörande för att säkerställa att det uppnår den önskade designformen.

5.5.1 Studie

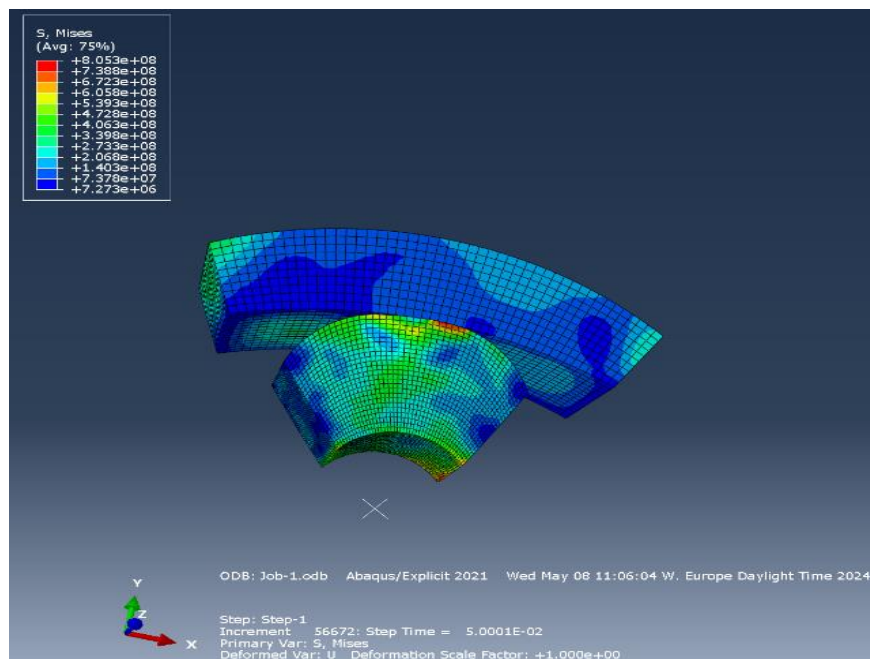
Med denna studie är det fokus på att förstå arbetsstycket- och hammarens beteende. Här användes det två olika randvillkor med typ (Displacement/Rotation). Första randvillkoren placerades på referenspunkt 1 och den motsvarades -0.05 m och andra randvillkoren placerades på referenspunkt 2 och den motsvarade en form av vinkel på 90 grader.

Amplituderna som användes under denna studie visas i figurerna (26–27). Mesh som användes under denna studie är även samma som visas i figurerna (28–29). Där hammaren valdes till grov mesh och en finare mesh på arbetsstycket, med syfte att få exakta resultat.

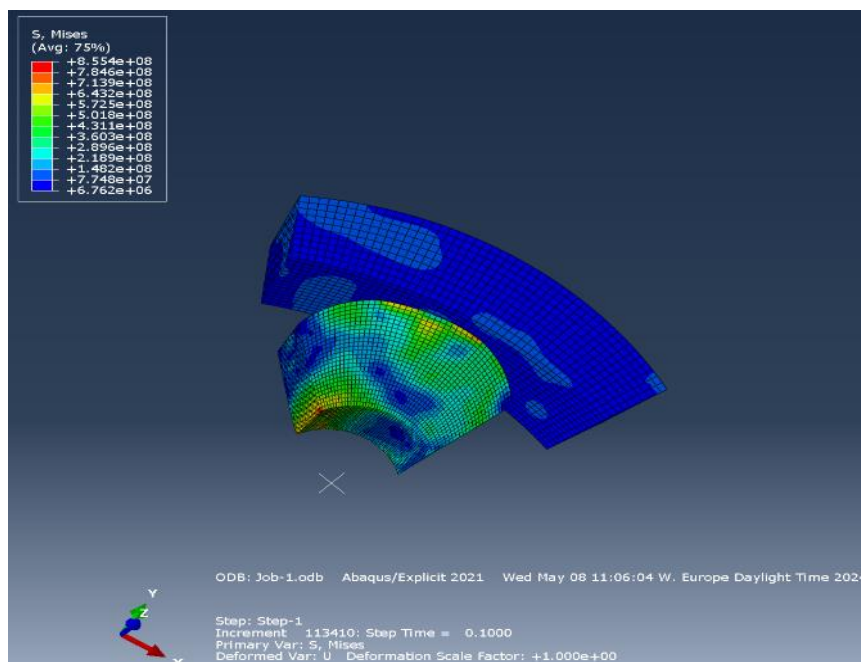
Figurerna nedan hänvisar till effektivspänningar (von Mises) och deformationer som uppstår vid olika tidsperioder, exempelvis 30%, 50% och 100%. Detta steg har gjorts för att se hur spänningar och deformationer utvecklas över tiden. Detta är nödvändigt för att se om det uppstår överdrivna höga spänningar och deformationer innan simuleringen har uppnått sin maximala tid.



Figur 31 - Effektivspänning (von Mises) vid 30%



Figur 32 - Effektivspänning (von Mises) vid 50%



Figur 33 - Effektivspänning (von Mises) vid 100%

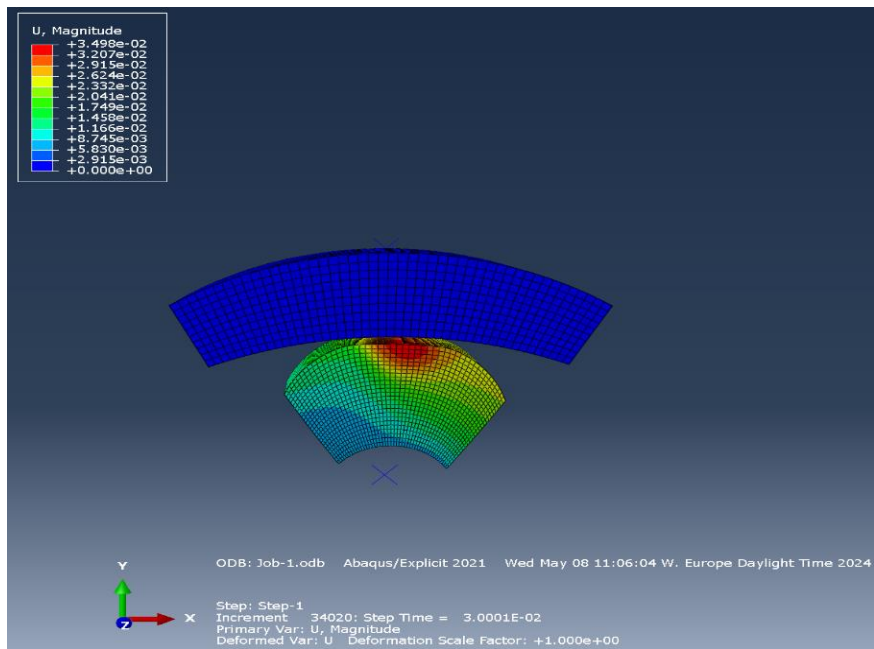
Det som kan ses i figurerna (31-32) är att de höga spänningarna uppstår mellan kontaktytan mellan hammaren och arbetsstycket, vilket var redan förväntat. Hammaren visar mindre spänningskoncentrationer i alla figurer jämfört med arbetsstycket och anledningen till detta är för att hammaren har tilldelats elastiskt material. Arbetsstycket däremot visar att den genomgår plastisk deformation och överstrider 376 MPa, det vill säga materialets sträckgräns vilket överensstämmer med vårt mål och syfte med hela simuleringen.

Det som var viktigt att upptäcka är att de spänningarna som visas i figurerna är fortfarande under den övre brottsgränsen 929 MPa. Detta i sin tur betyder att det finns en stor säkerhetsmarginal på att arbetsstycket deformeras plastiskt utan risker för sprickor.

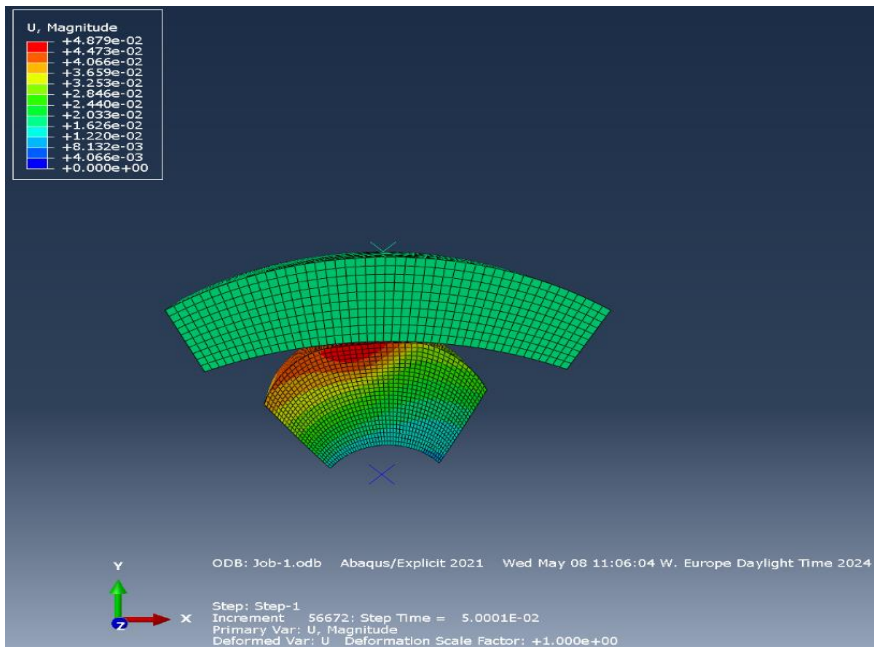
(Figur 33) visar även samma resultat men spänningarna är nära till materialets övre sträckgräns, vilket innebär att materialet har nästan uppnått sin maximala tillgång för att tåla plastisk deformation. Det är viktigt att observera att spänningarna är fortfarande under den övre materialets sträckgräns, men säkerhetsmarginalen är mindre här än de andra två fallen (figur 31-32).

Tabell 8 – Jämförelse av effektivspänningen för studien baserat på sekunder

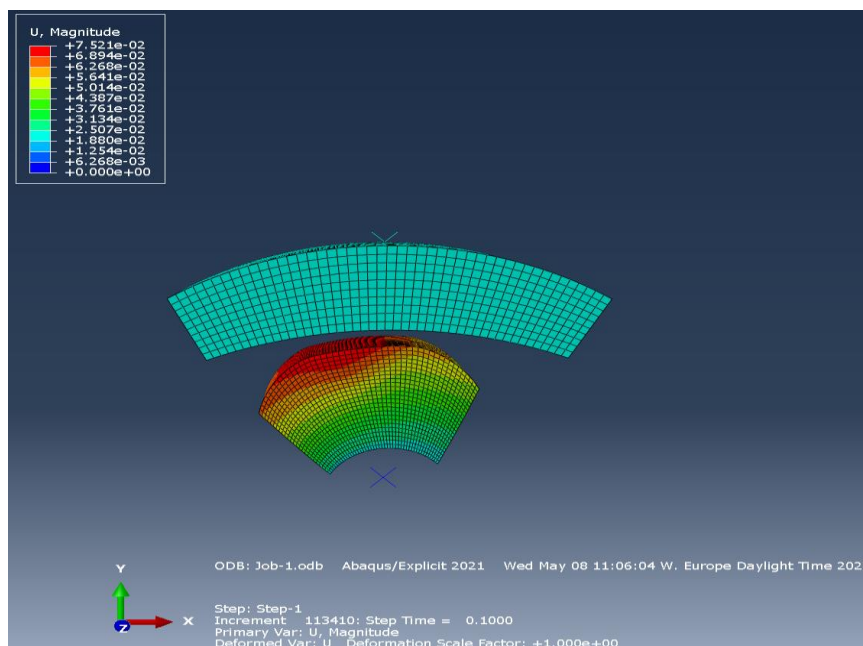
Studie	30%	50%	100%
Effektivspänning (von Mises)	759	805	855
Enhet	MPa	MPa	MPa



Figur 34 - Deformation vid 30%



Figur 35 - Deformation vid 50%



Figur 36 - Deformation vid 100%

Det som visas i figurerna (34–36) är att den största deformationen i materialet vid olika tidpunkter uppstår direkt vid kontaktytan mellan hammaren och arbetsstycket. Dessa bilder illustrerar var materialet upplever de största plastiska deformationerna, främst i mitten av arbetsstycket, och hur dessa deformationer sprider sig utåt över tid. Anledningen till att de största deformationerna sker där är att de högsta spänningarna också verkar i detta område.

Materialets sträckgräns ökar med deformation, vilket betyder att det bearbetande materialet härdas och blir starkare vid deformation. Det som kan ses i figurerna är att hammaren deformerar elastiskt, vilket betyder att den går tillbaka till sin ursprungliga form.

Deformationsbilderna (34–36) visar stigande förskjutningar på arbetsstycket. Den maximala förskjutningen är på 0.07521 m som uppstår vid den maximala tidssteget. I jämförelse med plasticitetsdata som definierades för arbetsstycket är den maximala förskjutningen acceptabel som gör att dessa förskjutningar ligger utanför riskzoner, vilket i sin del leder till den önskade designformen.

Tabell 9 - Jämförelse av deformation för studien baserat på sekunder

Studie	30%	50%	100%
Deformation	0.03498	0.04879	0.07521
Enhet	m	m	m

6. Diskussion

Följande rubriker tar upp områden som kunde ha gjorts annorlunda och som kunde ha utvecklats eller förbättrats.

6.1 Resultat av litteraturstudie

Litteraturstudien i vårt examensarbete har hjälpt oss att förstå rotationspressningsprocessen mer samt besvara de flesta av våra frågeställningar som definierades i början av projektet. Studien har ökat vår kunskapsnivå i rotatiopressningsprocessen genom att undersöka relevanta forskningsarbeten och studentuppsatser. Litteraturstudien har hjälpt till med att hitta olika information som berör själva simuleringen av rotationspressningsprocessen, vilket har varit i stort fokus inom arbetet. Det har även hjälpt oss att jämföra kall rotatiopressning med liknande tillverkningsmetoder som skulle kunna användas för liknande tillämpningar.

Denna kunskap har varit avgörande och underlättade för oss att tänka på vilka material som är lämpliga för just tillverkning av motoraxlar för elektriska fordon och typ av metod som brukar användas vid simulering av liknande processer. Denna metod var explicit metod som används i simuleringar på grund av att den är snabb och behandlar dynamiska processer.

Andra viktiga parametrar undersöktes också, vilket är hammarens slag på arbetsstycket som varierar mellan 1500 – 10 000 slag/min, krafter och tryck. Dessa data av hammarens slag kopplades till amplituderna som användes under simuleringen. Litteraturstudien har även studerat i fördjupning de ingående delarna i rotationspressningsmaskin för att hjälpa till och bestämma hur själva designen skall modelleras vidare.

Vi stötte också på svårigheter när det gäller att hitta lämplig kurslitteratur som behandlade simulering av rotatiopressningsprocessen i programvaran Abaqus CAE. Att ha tillgång till sådan litteratur hade varit fördelaktigt för att förstå processen djupare, identifiera möjliga variabler som kan påverka resultaten och även välja viktiga parametrar att inkludera i våra simuleringar. Dessutom hade det hjälpt oss till att minimera risken för felaktiga uppskattningar. Vi hade också kunnat dra nytta av att jämföra mellan våra egna resultat och tidigare forskning för att förstärka simuleringsresultat.

Sammanfattningsvis har litteraturstudien varit en grundnyckel att klargöra vilka metoder, data och material som använts i tidigare forskningar inför modellering och simulering av rotationspressningsprocesser.

6.2 Reflektion av metod och genomförande

Tidigt av projektet skapades en CAD-modell i Autodesk Inventor som sedan importerades till Abaqus CAE. Syftet med detta var att tidigt identifiera och utforska modellens reaktioner. Efter detta valdes att skapa modellerna direkt i Abaqus CAE, eftersom det visade sig vara svårt att ändra mått och andra aspekter i den konverterade filen från Autodesk Inventor.

En förbättring som kunde göras var att genomföra intervjuer med en rad olika företag som använder liknande processer. Genom att samla in insikter från dessa företag skulle vi kunna få värdefull information om exempelvis kostnader för rotationspressningsmaskiner, lämpliga material för specifika applikationer, maskinverktyg, underhållskostnader samt hur dessa företag beaktar hållbarhetsaspekter. Denna information skulle ge oss en mer fullständig och djupare förståelse för hela rotationsprocessen.

6.3 Metodik av materialval

Granta Design/CES EDUPACK är ett exempel på datorbaserat materialval som används bland annat för produktdesign. Idag finns det många andra metoder som jämför olika materialalternativ exempelvis livscykelanalys (LCA) och Ashby diagram. Granta Design/CES EDUPACK är en programvara och bra verktyg som underlättar för tillverkaren och ingenjören att välja ett rätt material för en önskad produkt baserad på funktionella krav och miljöpåverkan. Olika materialdata kan matas in i programmet som temperatur, spänning, deformation (Ansys Granta EduPack 2021).

Andra viktiga parametrar kan matas in också såsom vikt och önskad storlek på den produkten. Genom att mata in all data utförs en analys och detta resulterar till att tillverkaren får lämpliga material att utgå ifrån. En fördel med denna metod är att den kan introducera hållbarhet till teknisk design (Ansys Granta EduPack 2021).

Denna metod kunde användas med syfte att bestämma det lämpligaste materialet för simuleringen av rotationspressningsprocessen. Genom att använda Granta Design/CES EDUPACK kan man identifiera det optimala materialet för tillverkningen av motoraxlar för tillverkning av elektriska fordon. Genom att analysera olika material egenskaper som hållfasthet, vikt, och termiska egenskaper kan man välja det material som bäst uppfyller kraven för just den applikationen.

Livscykelanalys (LCA) är ytterligare en användbar metod som används för att utvärdera olika miljöaspekter av ett material. En livscykelanalys av ett specifikt material ger tydliga bilder för att förstå materialets totala påverkan från råvaruutvinning, produktion och transport till återvinning och avfallshantering.

Genom att studera hela livscykeln för det valda materialet kunde vi identifiera miljöpåverkande faktorer och tydligt se vilka specifika delar av livscykeln som hade störst miljöpåverkan. Detta i sin tur skulle möjliggöra att vi kunde upptäcka och implementera förändringar, såsom att byta till ett mer miljövänligt material, vilket i sin tur leder till en hållbar utveckling. (Ashby, Michael F 2015).

Dessa två metoder hade kunnat användas för att bestämma det mest lämpliga materialet inför denna simulering. Dock har vi inte behövt utgå från dessa metoder för att hela arbetet har vart avgränsad till materialet stål och med tanke på tid.

6.4 Resultat från FEM-simulering från Abaqus CAE

Syftet med detta examensarbete var att genomföra en litteraturstudie om rotationspressningsprocessen och däremot simulera en FEM (finita element modell) av en hammare och arbetsstycke som kommer i kontakt med varandra i Abaqus programvara. Fokuset med detta har varit i att undersöka vad för spänningar och deformationer arbetsstycket utsätts för. Hammaren har varit i sin del bara till hjälp och därför valdes den till att vara elastiskt, vilket innebär att den inte ska genomgå någon plastisk deformation. Däremot valdes arbetsstycket till både elastiskt-plastiskt för att den ska tåla olika slag från hammaren och för att nå önskade former med minimala defekter.

Genom att utföra denna analys i Abaqus CAE identifierades en hel del resultat som var intressant och gav mer förståelse för oss angående rotationspressningsprocessen. I denna diskussion kommer vi att utforska olika anledningar till att vissa beslut har fattats och vad som kunde ha gjorts annorlunda. Studien visar viktiga aspekter, såsom att arbetsstycket genomgår plastisk deformation och klarar av de belastningar som genereras av hammarslagen. Dessutom är hammaren designad för att vara hård och motståndskraftig för att undvika deformation. Nedan kommer vi att diskutera vissa avvikelser som uppstod på vägen av arbetet och identifiera några områden där det hade gjorts bättre för att få tydligare resultat. Dessa avvikelser berodde främst på tidsbrist.

En av de största svårigheterna som vi träffade på inför simuleringen var insamling av material data och dimensioner på både hammaren och arbetsstycket. Det var ganska krångligt att bestämma vad som var rätt och vad som var fel. På grund av brist på mått för designform av parterna, var vi tvungna att göra vissa antaganden och uppskattningar för dessa dimensioner för vår simulering. Dessa uppskattningar kopplades i samband till en omfattande litteraturstudie som gjorts i början och valdes att efterlikna modellens struktur som möjligt, vilket i sin tur underlättade genomförandet av simuleringen. En modellering och simulering av en specifik bearbetningsprocess kräver precisa och tydliga mått för att kunna ge korrekta resultat. Det är viktigt att veta att osäkerheten av resultat ökar vid uppskattningar av materialdata och mått på design.

Andra saker som kunde förbättras inför simuleringen var att utgå från två olika typer av material med samma sort i stället för att ha samma material för både hammaren och arbetsstycket. En anledning till att ha olika material på de två delarna är för att undvika att hammaren och arbetsstycket deformeras varandra. Hammaren ska vanligtvis tilldelas ett hårdare stål sort än arbetsstycket, med syfte att deformera arbetsstycket. Detta hade kunnat ge oss en djup förståelse av hur modellen representeras i verkligheten. Detta hade också gett oss mer realistiska resultat och visat hur olika materialegenskaper samverkar tillsammans.

En annan förbättring som kunde göras var att ändra dimensionerna på både hammaren och arbetsstycket för att se och jämföra resultatskillnaden mellan de två olika designerna. Detta avgränsades på grund av brist på tid. En till förbättring som kunde justeras är att ändra hastighet och tid på hammarens slag som identifierades i amplituden och ändra vinkelrotation på arbetsstycket kan vara också en viktig aspekt som påverkar resultatet.

När det gäller simuleringen av rotationspressningsprocessen har det varit viktigt för oss att hålla spänningarna en bra bit under den övre materialets plasticeringsgräns samt att förlänga livslängden på hammaren. Det är även viktigt att veta att valet av antal mesh beror starkt på modellernas geometri och även den tilldelade materialet på de två modellerna. Det som kunde göras bättre inför denna simulering var att använda en finare mesh på området där hammaren träffar arbetsstycket alltså toppen av arbetsstycket för att fånga de deformationer och spänningarna där arbetsstycket uppnår plastisk deformation. Inför hammarens mesh och andra områden i modellerna valdes de att vara till grova, eftersom vår främsta fokus var att utforska vad som sker där hammaren träffar arbetsstycket. Minskning av mesh gjordes på andra områden med tanke på att både minska beräkningskostnader och spara på tid. En annan viktig aspekt vi tog hänsyn till är omvandling och användning av rätt enheter under hela simuleringen. Eftersom vid användning av fel enheter kan leda till felaktiga resultat som i sin tur kan påverka hela analysens tillförlitlighet.

Slutligen och det som kunde förstärka resultaten från FEM-simuleringar är handberäkningar av exempelvis den effektiva spänningen (von Mises) och även deformationer. Fördelen med analytiska beräkningar är att följa specifika formler och kurslitteratur som lästs tidigare, användningen av dessa hade kunnat göra resultaten mer pålitliga. En stor nackdel med analytiska beräkningar är att de tar betydligt längre tid än att använda mjukvaror. Det är viktigt att observera att komplicerade geometrier kan vara svårt att lösa för hand. Därför används vanligtvis FEM-simuleringar idag. Simuleringsresultaten från FEM kan valideras genom handberäkningar.

6.5 Hållbar utveckling

Rotationspressning är en hållbar bearbetningsprocess som erbjuder betydande ekologiska och ekonomiska fördelar. Genom denna metod minskas materialspill och avfall, vilket resulterar i en mer effektiv användning av råvaror. Processen förbättrar dessutom effektiviteten och minskar energiförbrukningen genom att använda miljövänliga och hållbara material, vilket ytterligare minskar den totala miljöpåverkan.

Det är en kallbearbetningsprocess som inte kräver värme, vilket ger betydande ekonomiska och miljömässiga fördelar. Ekonomiskt sett leder detta till energibesparingar och lägre produktionskostnader tack vare snabbare produktion och rätt användning av material. Miljömässigt bidrar processen till minskade växthusgasutsläpp och ett lägre koldioxidavtryck.

Denna bearbetningsprocess kan också vara avgörande för att främja social hållbarhet. Genom att sänka kostnaderna och öka konkurrenskraften kan företag behålla en stabil och kvalificerad arbetskraft i västvärlden. Detta tillvägagångssätt stödjer inte bara företagens mål, utan bidrar även positivt till samhället genom att säkerställa stabila jobb och stärka gemenskapens välbefinnande.

6.6 Genus

Ojämlighet inom ingenjörsvetenskap och tillverkningsindustrin visar sig på många olika sätt. Kvinnors roll i branschen är fortfarande betydligt mindre än männens, vilket är ett problem som måste åtgärdas för att uppnå verklig jämställdhet. Skillnader i löner, arbetsmiljö, tillgång till resurser och kvarlevande stereotyper är ytterligare faktorer som bidrar till könsbaserad ojämlikhet. Genom att aktivt bekämpa och rätta till dessa orättvisor kan vi skapa en mer inkluderande och rättvis framtid för alla.

För att motverka ojämställdhet och främja jämställdhet inom tillverkningsindustrin, särskilt vid användning av bearbetningsprocesser som exempelvis rotatiospressning, är det viktigt att genomföra åtgärder som bidrar till hållbar utveckling. Det är viktigt att utbilda alla arbetsledare, anställda och chefer om vad jämställdhet innebär och hur en brist på detta kan påverka arbetsmiljön negativt. Genom att skapa arbetsmiljöer som är anpassade för både män och kvinnor kan vi motverka denna obalans för en lyckosam framtid inom tillverkningsindustrin.

7. Slutsatser

Examensarbetet har framgångsrikt uppnått sitt huvudsakliga mål, som definierades vid projektets början. Arbetet fokuserade på att genomföra en litteraturstudie och tillämpa denna kunskap på modellering och simulering av en rotationspressningsprocess. Syftet var att undersöka materialets beteende i arbetsstycket. Denna undersökning genomfördes med den explicita dynamiska metoden i programvaran Abaqus CAE och simuleringresultaten verifierar den samlade information från litteraturstudien.

Från simuleringresultaten observerades spänningar och deformationer som ligger mellan materialets sträckgräns på 376 - 929 MPa, vilket var förväntat eftersom stål är ett hårt material. Resultaten visade även att arbetsstycket genomgår plastisk deformation utan att utsättas för brott, medan hammaren deformeras elastiskt.

På vissa små delar av arbetsstycket visade spänningar och deformationer att de var nära materialets övre sträckgräns. Om arbetsstycket uppnår överdrivna plastiska deformationer som överskrider denna gräns, kan det leda till att materialet inte uppnår den önskade designformen, vilket även ökar risken för sprickor och brott. För att undvika detta kan vissa justeringar göras, exempelvis att anpassa materialegenskaper, arbetsstycket- samt hammarens design.

På grund av tidsbrist och tidigare forskning gjordes vissa antaganden. Därför föreslogs några framtida arbeten som kan vidareutvecklas i nästa kapitel.

8. Framtida arbete

Detta examensarbete har begränsats av flera faktorer, inklusive brist på tid, materialåtgång och begränsade tidigare forskningar inom rotationspressningsområdet. På grund av dessa begränsningar har vissa antaganden och uppskattningar varit nödvändiga för beslutsfattandet under projektets gång. För att klargöra och bekräfta dessa antaganden behövs ytterligare forskning. Vid en fortsatt utvärdering av detta arbete bör följande punkter granskas:

- Att studera och testa olika material som aluminium, rostfritt stål och olika stållegeringar. Genom att undersöka dessa material i simuleringar kan fås en bättre förståelse för deras mekaniska egenskaper.
- Att bestämma kostnaderna för rotationspressningsmaskiner samt andra ekonomiska aspekter, inklusive bearbetningskostnader och inköp av material och verktyg.
- Att simulera hela modellen, inklusive de fyra hamrarna och övriga komponenter, kan utföras för att analysera hur dessa delar samverkar och presterar tillsammans.
- Att ta hänsyn till någon typ av smörjmedel vid denna rotationspressningsprocessen, med syfte att underlätta rotationshastigheten, minska verktygslitage samt andra skador, vilket kan skada både hammaren och arbetsstycket.
- Att utföra hand- och analytiska beräkningar kompletterar och förstärker simuleringsresultaten.

Referenser

- *Abaqus*. 2008. *Getting Started with Abaqus: Interactive Edition*. United States: Dassault Systèmes Simulia Corp. (Hämtad 2023-01-09).
- *Abaqus Inc.* (1978). *Abaqus [Programvara]*. Johnston, Rhode Island, US
- A. ghaei, M.R. Movaahedy, A. Karimi Taheri., (2007). *Finite element modelling simulation of radial forging of tubes without mandrel*
- *Ansys Granta EduPack* (2021). <https://www.ansys.com/products/materials/granta-edupack>
- *Ann Heberlein.* (2014). *Etik: människa, moral, mening*. ISBN: 9 789 100 135 720
- *Arbetsmiljöverket* (2023-07-21). *Inomhusmiljö*. [Inomhusmiljö - Arbetsmiljöverket \(av.se\)](http://www.arbetsmiljoverket.se)
- *Ashby, Michael F.* "Material och hållbar utveckling", *Butterworth Heinemann*, 2015 ISBN 9780081001769.
- *Bjurstam, Peter* (1994). *Skärkrafter vid fräsning: teori och verklighet*. sid. 120.
- *Brian F, Donald H, Albert L, Hoffmanner, Rickard K, Walter P.* (2005).
- *DeGarmo, Ernest Paul, Black, J. Temple & Kohser, Ronald A.* (1988). *Materials and processes in manufacturing*. 7. ed New York: Macmillan
- *Dhia C, Svetlana O, Marius H, Christian S och Jerermy E.* (2021). *Mechanical properties of rotary swaged steel components*. [Mechanical properties of rotary swaged steel components | Forschung im Ingenieurwesen \(springer.com\)](https://www.springer.com)
- *Eberhard Rauschnabel & Volter Schmidt.* (1992). *Modern applications of radial forging and swaging in the automotive industry*.
- *Groover, Mikell P.* (2010). [Grunderna i modern tillverkning: material, processer och system](https://www.wiley.com). John Wiley & Sons. Sidan 472.
- *Grupp, P., Kienhöfer, C., Rundknettechnik MI-Verlag*, ISBN 3-478-93291-2, 2003
- *Gupta, K.* (2020). *A Review on Green Machining Techniques*, *Procedia Manufacturing*, Volume 51, Pages 1730-1736, ISSN 2351-9789, <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.241>.
- *Hermanders AB* (2007). *Trycksvarvning*. [Elektronisk]. Tillgänglig: <http://www.hermanders.se/trycksvarvning.html>
- *Johannesson, H., Persson, J.-G. & Pettersson, D.,* (2004). *Produktutveckling - effektiva metoder för konstruktion och design*. 1 red. Stockholm: Liber AB

- Kalpakjian, S. & Schmid, S.R. (2010). *Manufacturing engineering and technology*. (6. ed.) Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall.
- Kalpakjian, S. and Schmid, S.R., (2014). *Manufacturing, Engineering and Technology*. (Seventh Edition) Pearson Education South Asia Pte Ltd., ISBN 978 981 06 9406 7
- Lenka Kuncicka. (2024). *Structural Phenomena Introduced by Rotary Swaging*
- Liza, Yacoub. (2023-03-27). Energimyndigheten. *Energiläget* (energimyndigheten.se)
- Metalltryckning AB (2024). *Trycksvarvning*. [Elektronisk]. Tillgänglig: [Trycksvarvning - Metalltryckning i Hovslätt AB - Er trycksvarvningspartner!](#)
- *Metalworking: Bulk Forming. Handbook*. ISBN 978-0-87170-708-6.
- *Nationalencyklopedin* (u.å.) *Finita elementmetoden*.
<http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lang/finita-elementmetoden> [2023-05-11]
- Pernilla Nordström och Lars-Göran Alm, *Gula idéer sover lugnt. Filosofi för gymnasiet, Natur & Kultur, 2012*
- Qi Zhang, Kaiqiang Jin och Dong Mu. (2014). *Tube/tube joining technology by using rotary swaging forming method*.
- Sandvik Cormoant (2021). *Fräsning i steg*. [Elektronisk]. Tillgänglig: [Fräsning i steg \(coromant.com\)](#).
- *Steel products* (2021). *Hög hållfasthet och låg materialförbrukning. Rullformning*. [Elektronisk]. Tillgänglig: [Rullformning | Steel Products](#)
- Tiantai T, Hongtu X, Wenbin Z, Yu Z och Qi Z. (2023). *Failure analysis of cold rotary swaging die*.
- *Jernkontoret*. (2019). *Metaller*. [Metaller - Jernkontoret](#)

Bilagor

Bilaga 1 – Litteratursökning

Denna rapport baseras på en mängd olika informationskällor, från tryckta böcker från högskolans bibliotek till kurslitteratur från tidigare kurser som har genomgåts. Medan ytterligare böcker har hämtats från den akademiska sökmotorn Google Scholar. Några databaser som är tillgängliga i högskolans bibliotek hemsida har kollats på också, vilket inkluderar Academic Search Premier, LibSearch, Nationalencyklopedin, ne.se, Scopus och ScienceDirect. Under arbetet med rapporten har även trovärdiga Internetkällor använts, liksom Diva Portal som erbjuder en del av forskningsrapporter och gamla examensarbeten som skrivits av andra studenter som har varit till stor hjälp. Olika företag har granskats inom tillverkningsindustrin för att se hur de använder rotatiospressning. Målet med det var att förstå hur dessa tillverkningsindustrier drar nytta av metoden och den tillämpas.

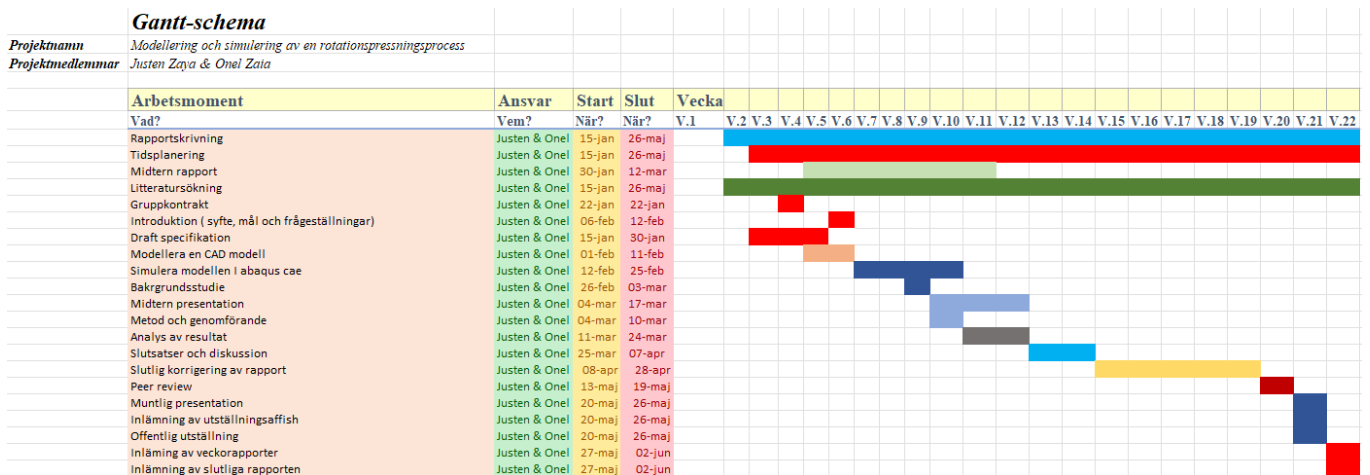
Enligt Stockholm stad ska följande punkter beaktas när information från nätet samlas in:

- Vem är det som har skrivit materialet?
- Vilket syfte har innehållet, att informera eller marknadsföra?
- Målgrupp? Böckerna beskriver tydligt dess målgrupp.
- Hur aktuell är informationen? Årtal för publikation eller revidering?
- Innehållets relevans.
- Referensernas relevans och trovärdighet med hänsyn till punkterna ovan.

Dessa punkter ovan har beaktats vid sökning av olika artiklar, Internetkällor och databaser under skrivandet av denna rapport.

Bilaga 2 – Projektplan

Examensarbetet som består av två maskiningenjörsstudenter genomförde redan i början en gemensam projektplan. Där Planerade redovisningar och hela arbetet är nedskrivna i ett Gantt-schema, där alla moment kommer att sammanställas från kursens start till slut , vem som tar ansvar för vad samt tid det tas per arbetsmoment. Schemat kommer att ändras och uppdateras kontinuerligt genom projektets gång samt att markera av moment som är avklara, vilket underlättar hela arbetet. En rapport kommer att skrivas ner och resultaten kommer att framföras i en muntlig presentation.



Bilaga 3 – Mall av specifikation

Namn: Justen Zaya

E-post: A19jusza@student.his.se

Utbildningsprogram: Maskiningenjör

Namn: Onel Zaia

E-post: A20oneza@student.his.se

Utbildningsprogram: Maskiningenjör 180hp

Titel

Modellering och simulering av en rotationspressningsprocess.

Organisation och bakgrund

Examensarbetet utförs på uppdrag från Högskolan i Skövde. Rotationspressning är även känd som rotary swaging på engelska, är en effektiv och ekonomisk tillverkningsmetod som används för att skapa roterande symmetriska komponenter med hög precision. Användningen av rotationspressning minskar behovet av efterbearbetning, vilket sparar både på tid och material. De två mest kända metoder inom rotationspressning är kall- och varm rotationspressning, men fokuset kommer att endast ligga på kall rotationspressning under detta examensarbete.

Handledare vid Högskolan i Skövde

Huvudhandledare: Tobias Andersson

Telefonnummer: 0500–448572

E-post: tobias.andersson@his.se

Examinator: Rohollah Ghasemi

Telefonnummer: 0500–448502

E-post: rohollah.ghasemi@his.se

Problem- eller frågeställningar

- Hur fungerar rotatiopressningsprocessen inom tillverkningsindustrin ?
- Vilka är de fördelarna- respektive nackdelarna med rotatiopressningsprocessen?
- Hur ser utvecklingen ut av denna bearbetningsprocess idag?
- Varför görs en simulering av hammare och verktyg i Abaqus CAE?
- Hur kan rotatiopressningsprocessen modelleras och simuleras med FEM?
- Vilka spänningar respektive deformationer utsätts arbetsstycket för?

Uppdragets mål

(För ett examensarbete är det viktigt att redan i början sätta upp uppdragsmål samt avgränsningar för att säkerställa lyckade och önskade resultat). Här nedan beskrivs några viktiga mål samt avgränsningar som tagits hänsyn till under denna specifikation:

- Första steget är att genomföra en litteraturstudie vilket inkluderar studie av vetenskapliga artiklar, böcker, databaser, rapporter samt även andra relevanta källor baserat på kunskap inom rotationspressningsområdet. Syftet med det är att samla kunskap och data inom ett specifikt område. Detta ger en bra vägledning för framtida arbete.
- Andra steget är att skapa en finita element modell av rotationspressningsprocessen för rotationsaxel till en elmaskin.
- Slutligen är det viktigt att dokumentera och samla in alla ovanstående punkter i en strukturerad rapport, där all teori, resultat och slutsatser samlas in och skrivs ner för att få en övergripande inblick av arbetet.

Avgränsningar

- Simuleringen är avgränsad till enbart stål som material i både verktyg och hammare.
- Fokus ligger på enbart kall rotatiopressning.
- Begränsning gällande enbart tillverkning av motoraxlar till olika typer av elektriska fordon.
- Examensarbetet är avgränsat till 20 veckors heltidsarbete, vilket kan motsvara 40 timmars arbete per vecka.
- Begränsning gällande enbart resultat av effektivspänning (von Mises) och deformation på grund av tidsbrist.

Intressenter

Vi som studenter, forskningsgruppen vid Högskolan i Skövde men även tillverkningsindustrier är intressenterna som har intresse av resultaten.

Initialt relevant litteratur

- Kalpakjian, S. & Schmid, S.R. (2010). *Manufacturing engineering and technology*. (6. ed.) Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall.
- Leijon, Willy (red.) (2014). *Karlebo Materiallära*. 15. uppl. Stockholm: Liber.
- Ullman, Erik (1997). *Karlebo Materiallära*. 14. uppl. Stockholm: Liber
- Ottosen, N. & Petersson, H. (1992). *Introduction to the Finite Element Method*. Prentice Hall.
- Seong-Joo Lim, Ho-Joon Choi, Chi-Hwan Lee. (2009). Forming characteristics of tubular product through the rotary swaging process.
- R. Hebdzyński, S. Kajzer, R. Kozik. (1997). Forging on the four-lever arms swaging machines.

Förutsättningar och tillgänglig data

På Högskolan i Skövde har studenten möjlighet och tillgång till grupprum, salar och datorer, det vill säga alla material som behövs för att kunna utföra detta examensarbete. Studenten kan använda sig utav kurslitteratur från skolans bibliotek både på plats och online.

Redovisning

Planerade redovisningar och hela arbetet finns längre ner under kapitlet tidsplan i ett Gantt-schema, där alla moment kommer att sammanställas från kursens start till slut, vem som tar ansvar för vad samt tid det tas per arbetsmoment. Schemat kommer att ändras och uppdateras kontinuerligt genom projektets gång samt att markera av moment som är avklara, vilket underlättar hela arbetet. En rapport kommer att skrivas ner och resultaten kommer att framföras i en muntlig presentation.

Strategi/tillvägagångssätt



Några av metoderna som kommer att användas under projektets gång ses nedan:

- **Litteraturstudie:** för att samla in information och fakta om ett specifikt område
- **Modellering i Autodesk Inventor (CAD):** Autodesk Inventor används inom ingenjörbranschen för att designa allt från enkla maskindelar till komplexa maskiner.
- **Modellering och simulering i Abaqus cae:** Simulering i Abaqus är en FEM som används inom de flesta ingenjörsområden. Metoden används inom hållfastheten med syfte att lösa både linjära och icke linjära differentialekvationer samt modellering av komplexa problem

Signaturer

Signaturer från huvudhandledare och examinator för att visa att alla parter är överens om examensarbetets övergripande mål, innehåll och tidsmässiga upplägg.

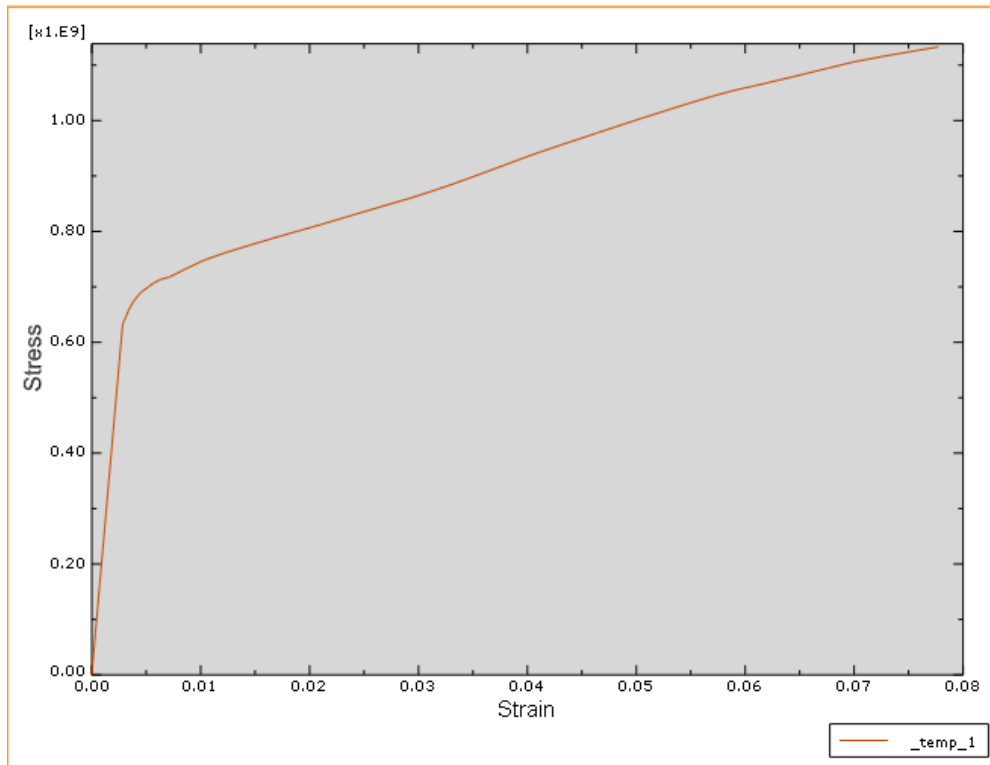
Denna projektspecifikation är godkänd av:

Handledare vid högskolan	Examinator
Namn: Tobias Andersson	Namn: Ruhollah Ghasemi
Signatur: 	Signatur: 

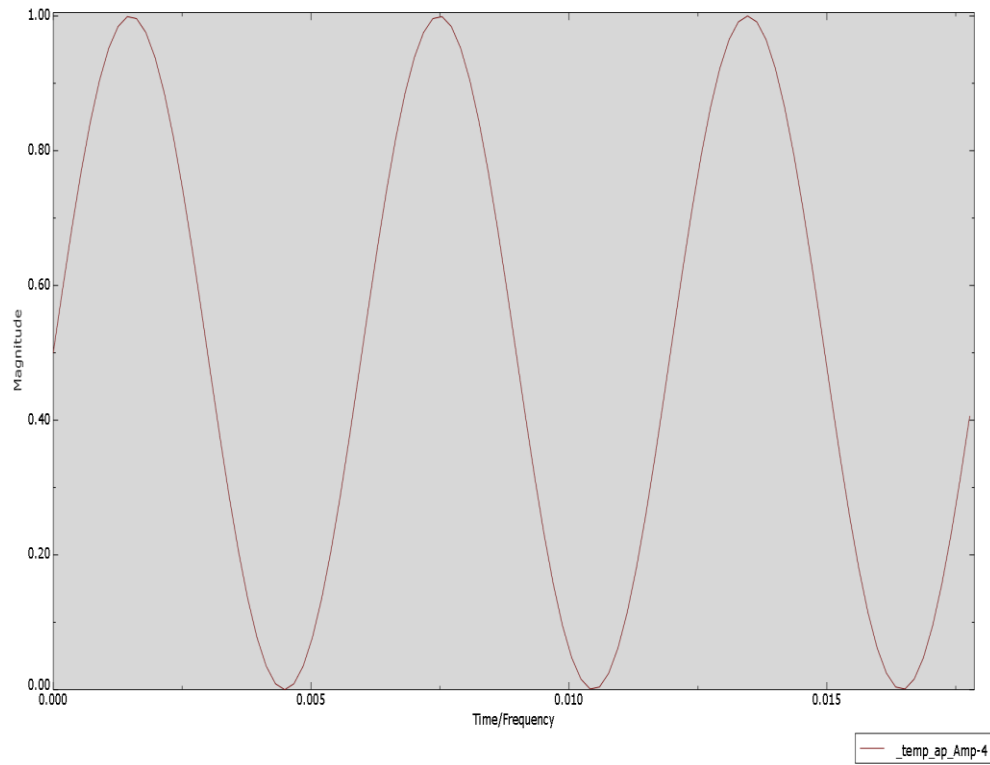
Bilaga 4 – Handberäkning av periodisk amplitud

$$s(t) = 1 \text{ (if } t \text{ timo, } t_0 = 0)$$
$$t_0 = 0$$
$$10\,000 \text{ slag/min} \Rightarrow f = \frac{10\,000}{60} \approx 167 \text{ Hz}$$
$$\omega = 2\pi f = 2\pi \cdot 167 = 1050 \text{ rad/s}$$
$$a = \frac{1}{2} (\sin \omega t + 1)$$
$$a = A_0 + A_1 \cos \omega t + B_1 \sin \omega t$$
$$\Rightarrow A_0 + A_1 \cos \omega t + B_1 \sin \omega t = \frac{1}{2} (\sin \omega t + 1)$$
$$\Rightarrow A_0 + A_1 \cos \omega t + B_1 \sin \omega t = \frac{1}{2} \sin \omega t + \frac{1}{2}$$
$$\Rightarrow A_1 = 0, \quad B_1 = \frac{1}{2}, \quad A_0 = \frac{1}{2}$$

Bilaga 5 – Graf av Plasticitetsdata för stål



Bilaga 6 – Graf på den periodiska amplituden



Bilaga 7 – Figurförteckning

- *Figur 1 - (Lenka K, 2024). [Materials | Free Full-Text | Structural Phenomena Introduced by Rotary Swaging: A Review \(mdpi.com\)](#)*
- *Figur 2 - (Felss, u.å.). <https://www.felss.com/en/technologies/rotary-swaging/>*
- *Figur 3 - (Mech4study, 2019). <https://www.mech4study.com/production-engineering/swaging-process-working-application-advantages-and-disadvantages.html/>*
- *Figur 4 - (D. Lim et al., 2019). [\[PDF\] Modeling, Simulation and Verification of a New Swaging Process using DEFORM® | Semantic Scholar](#)*
- *Figur 5 - (Philipp Group, 2012). [Philipp GRUPP | Business Development Director | Dipl.-Ing. | Research profile \(researchgate.net\)](#)*
- *Figur 6 - (Fichter – formtec GmbH, u.å.). [PDF anzeigen \(fichter-formtec.de\)](#)*
- *Figur 7 - (Yang L & Jing L, 2020). [Workpiece before and after rotary swaging. | Download Scientific Diagram \(researchgate.net\)](#)*
- *Figur 8 - (Felss, u.å.). [Drive shaft - Felss](#)*
- *Figur 9 - (Felss, u.å.). [Steering shaft - Felss](#)*
- *Figur 10 – (Hermanders AB, 2007). [Trycksvarvning - Hermanders](#)*
- *Figur 11 - (Hermanders AB, 2007). [Trycksvarvning - Hermanders](#)*
- *Figur 12 – (EuroSteel, 2023). [Fräsning av grovplåt & plåt - Eurosteel Nybro](#)*
- *Figur 13 - (Wikipedia, 2007). [Rullformning – Wikipedia](#)*
- *Figur 14 - Hållbarhets tre viktiga grundstenar. Johansson, L. 2021-Hållbar utveckling [figur 9] [Hållbar utveckling - Skurups kommun \[2021-09-13\]](#)*
- *Figur 15 - En CAD- modell i Autodesk Inventor*
- *Figur 16 – Geometri på överdel*
- *Figur 17 – Geometri på underdel*
- *Figur 18 – plasticitet för underdelen*
- *Figur 19 – Här visas både Procedure typ och tid för simuleringen*
- *Figur 20 – Referenspunkt 1 och 2*
- *Figur 21 – Begränsningsmetod för referenspunkt 1*

- *Figur 22 – Begränsningsmetod för referenspunkt 2*
- *Figur 23 – Kontaktytan mellan överdel och underdel*
- *Figur 24 – Randvillkor och kraft i referenspunkt 1*
- *Figur 25 – Randvillkor och kraft i referenspunkt 2*
- *Figur 26 – Periodic amplitud för referenspunkt 1*
- *Figur 27 – Tabular amplitud för referenspunkt 2*
- *Figur 28 – Mesh för överdelen*
- *Figur 29 – Mesh för nederdelen*
- *Figur 30 - Exempel på simuleringstavla på Abaqus CAE*
- *Figur 31 – Effektivspänning (Von Mises) vid 30%*
- *Figur 32 - Effektivspänning (Von Mises) vid 50%*
- *Figur 33 - Effektivspänning (Von Mises) vid 100%*
- *Figur 34 – Deformation vid 30%*
- *Figur 35 - Deformation vid 50%*
- *Figur 36 - Deformation vid 100%*

Bilaga 8 – Tabellförteckning

- *Tabell 1 - Olika tjocklekar för olika material (Hermanders AB, 2007). [Trycksvarvning - Hermanders](#)*
- *Tabell 2 – Jämförelse mellan Rotary Swaging och trycksvarvning*
- *Tabell 3 – Jämförelse mellan Rotary Swaging och fräsning*
- *Tabell 4 – Några typer av smörjmedel, deras bruk samt material de använd på (Wikipedia, 2022). [Rullformning – Wikipedia](#)*
- *Tabell 5 – Jämförelse mellan Rotary Swaging och rullformning*
- *Tabell 6 - fysikaliska egenskaper för stål och rostfritt stål. Ansys Granta EduPack (2021). <https://www.ansys.com/products/materials/granta-edupack>*
- *Tabell 7 - Fördelar och nackdelar mellan stål och rostfritt stål vid bruk inom fordonsindustri. Jernkontoret. (2019). Metaller. [Metaller - Jernkontoret](#).*

- *Tabell 8 – Jämförelse av effektivspänningen för studien baserat på sekunder*
- *Tabell 9 - Jämförelse av deformation för studien baserat på sekunder*