



HÖGSKOLAN
DALARNA

EXAMENSARBETE

Varmsmidning av aluminiumlegering 6026 T9

Warm forging of aluminum alloy 6026 T9

Niklas Sten
Rickard Carlsson

2011-05-02

Examensarbete
Materialvetenskap
Nr: E 4053 MT

1. INTRODUKTION.....	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Mål.....	1
1.3 Metod och avgränsningar	1
2. TEORI.....	2
2.1 Aluminium.....	2
2.1.1 Användning, framställning och egenskaper.....	2
2.1.2 Benämning av aluminiumlegeringar.....	3
2.1.3 Aluminiumlegering 6026 T9	4
2.2 Smidning.....	6
2.2.1 Kall smidning.....	6
2.2.2 Varm smidning	7
2.2.3 Het smidning.....	7
2.2.4 Isoterm smidning	7
2.3 Formar och pressverktyg	7
2.4 Smörjmedel.....	8
3. EXPERIMENT.....	9
3.1 Smörjmedlets effekt vid smidning av aluminiumkutsar.....	9
3.2 Temperaturens inverkan på gravyrfyllnad vid smidning.....	9
4. RESULTAT	11
4.1 Smörjmedlets effekt vid smidning av aluminiumkutsar.....	11
4.2 Temperaturens inverkan på gravyrfyllnad vid smidning.....	12
5. DISKUSSION	16
6. SLUTSATS	17
6.1 Förslag till fortsatt arbete.....	17
7. REFERENSER.....	18
8. ERKÄNNANDEN	19

1. Introduktion

Detta projektarbete utfördes på Högskolan Dalarna och i samarbete med Mattson Metal AB i Mora. Mattson Metal är ett företag som tillverkar varmpressade metalledetaljer vilka används i allt från ställverk och bromssystem till rökdykarutrustning och vattenledningssystem. De arbetar med hela produktionskedjan från råämnen till monteringsfärdiga produkter. Utgångsmaterialet är vanligen mässing eller koppar i form av cylindriska kutsar som värms i en induktionsugn för att sedan smidas med en tryck- eller skruvpress till slutgiltig form. De smidda detaljerna bearbetas sedan vidare genom fräsning, slipning, gängning eller vad som behövs för att ge kunden sin färdiga produkt.

1.1 Bakgrund

Företaget vill nu undersöka möjligheten att även smida vissa av sina komponenter i aluminiumlegeringar som exempelvis *6026 T9*. De är i första hand intresserade av att ha fördjupade kunskaper om smidning av *6026 T9* med avseende på lämplig smidningstemperatur, materialflöde, gravryfyllnad samt andra processparametrar som t.ex. pressverktygets hastighet, verktygstemperatur och eventuell smörjning.

1.2 Mål

Projektet utförs i syfte att öka förståelsen för hur smidningstemperaturen och presskraften inverkar på komponentens slutliga form och utseende efter pressning. Gravryfyllnaden och ytan efter smidning av aluminiumlegering *6026 T9* kommer också att undersökas.

1.3 Metod och avgränsningar

Projektet kommer främst att utgöras av en smidning av aluminiumlegeringen *6026 T9*. Utgångsmaterial är en cylindrisk kuts (30x80mm) som varmsmids i ett slutet verktyg till en relativt enkel komponent. Ämnets temperatur varierar mellan 400 °C till 470 °C medan verktygets temperatur behålls till ungefär 200 °C. Processen smordes med en grafitlösning. Pressen rör sig med en konstant hastighet på uppskattningsvis 10 mm/s. På grund av detta utförs samtliga experiment med konstant hastighet på pressverktyget. Vid varje temperatur som studeras analyseras kraftbehov hos pressen, samt resulterande komponents form.

2. Teori

2.1 Aluminium

Den mest förekommande metallen i jordskorpan är lättmetallen aluminium. Det är en metall med goda egenskaper vad gäller korrosionsmotstånd och hållfasthet i förhållande till dess atomvikt. Inom industrin ställs ofta höga krav på nämnda egenskaper för att kunna tillverka produkter med hög kvalitet som klarar av användningsområden med stora påfrestningar hos materialet. Jämfört med stål har även aluminium mycket lägre densitet vilket är fördelaktigt inom många områden. Det kan ge följder som lägre utsläpp eller mindre påfrestningar om den utgörs som en liten del i en stor komponent.

2.1.1 Användning, framställning och egenskaper

Inom tillverkningsindustrin förekommer ofta olika formningsmetoder så som valsning, smidning eller gjutning där aluminium används som råmaterial. Fördelen jämfört med andra metaller är att speciella profiler kan designas genom materialets möjlighet att extruderas. Olika profiler kan sedan sammanfogas genom svetsning eller med nitar vilket ger stor frihet vad gäller produkter som kan byggas i olika segment och utgörs av olika komponenter. Materialets elektriskt ledande och värmeledande egenskaper ger stor användbarhet inom nischade användningsområden.

Aluminium har även möjligheten att fullständigt återvinnas vilket gör det till ett material lämpat för stor framtida användning då återvinning blir en allt mer viktig aspekt vid produktion. Den största fördelen är att materialet i sig inte förlorar kvalitet vid återvinningen vilket gör att det i princip kan återvinnas oändligt antal gånger.

Ett av de stora användningsområdena är transportindustrin där materialets låga vikt eftersträvas. Formbarheten och korrosionsbeständigheten möjliggör även avancerade konstruktioner som är till för att skydda vitala delar i till exempel en personbil. [1]

Framställning av aluminium sker utifrån råvaran bauxit som bryts för att sedan elektrolyseras i ugn vid hög värme där sedan smält aluminium kan tappas ur ugnens botten. Därefter gjuts det till endera valsgöt för att senare valsas till plåtar eller till pressgöt som senare kan extruderas till olika profiler. Extruderingen eller formgjutningen ger stora valbarheter vad gäller den slutliga formen hos profilen. Detta är fördelaktigt då det går att anpassa efter detaljer som kräver exempelvis skenor för infästning eller upphängning i profilen.

Efter pressningen sker en omedelbar kylning med vatten eller luft beroende på profilens legeringstyp, form och storlek. För att profilerna ska bli raka och undvika spänningar släcks profilen efter kylningen. Därefter kan kapning till önskad längd ske. Sista steget är sedan åldringen där materialets slutgiltiga hållfasthet erhålls. [2]

Genom att kontinuerligt fortsätta med utveckling och forskning finns stora möjligheter att designa ett material och ta fram legeringar som speciellt anpassas till ett specifikt användningsområde. Nischade produkter kan tas fram då kraven från kunder ständigt blir större och mer specificerade.

2.1.2 Benämning av aluminiumlegeringar

Siffrorna och bokstäverna i aluminiumlegeringen 6026 T9 betecknar vad innehållet består av samt hur den har behandlats för att uppnå dess materialegenskaper. Alla legeringar har därför olika siffror och bokstäver i beteckningen vilket gör det lätt att kategorisera dem och sortera ut vilken legering som ska användas vid en speciell applikation beroende på de krav som ställs vid användandet av produkten.

Metallen aluminium är i sig självt ett relativt mjukt ämne och lämpar sig inte för användning där den utgörs som en konstruktion eller som bärande grundpelare. Genom addition av legerande element som till exempel koppar, mangan, magnesium eller zink etc. kan de fysiska och mekaniska egenskaperna påverkas och göra materialet mer användbart och bättre anpassat. Genom ytterligare värmebehandling kan legeringen tillföras sina egenskaper som eftersträvas. För att kategorisera legeringen utefter dess benämning finns vissa restriktioner som förklarar vad legeringen innehåller och hur den har bearbetats. Samtliga smidda legeringar tillhandahåller ett nummer med fyra siffror där det dominerande legeringselementet bestämmer första siffran. Detta kan överskådas i *Tabell 1* nedan där en sammanställning finns över de vanligaste legeringstyperna och dess kategorisering. De resterande siffrorna har endast syftet att identifiera legeringen. Undantaget gäller för fallet med rent aluminium då de två sista siffrorna i kombinationen anger förekomsten av föroreningselement. Exempelvis anger ”1080” att det till 99,8 % består av aluminium, eller att det finns maximalt 0,2 % föroreningselement. [3]

Tabell 1. Kategorisering av legeringar. [3] och [4]

Legeringens numrering	Dominerande legeringselement	Effekt av legeringsämne
1 _{xxx}	<i>Olegerat (rent aluminium)</i>	Hög korrosionsresistens, bra ledningsförmåga
2 _{xxx}	Cu	Högre styrka, hårdhet, bearbetningsbar, kan värmebehandlas
3 _{xxx}	Mn	Ger lite högra styrka
4 _{xxx}	Si	Bättre gjutbarhet och svetsbarhet
5 _{xxx}	Mg	Ökar styrkan, korrosionsresistens
6 _{xxx}	Mg och Si	Ökar, formbarheten, styrkan, korrosionsresistansen, gör den värmebehandlingsbar
7 _{xxx}	Zn och Mn	För högsta styrkan, värmebehandlingsbar
8 _{xxx}	Övriga element	<i>Beror av legeringselementet</i>

Legeringar som ingår i grupperna 2_{xxx}, 4_{xxx}, 6_{xxx} och 7_{xxx} är härdningsbara legeringar. I den åttonde gruppen finns vissa undantag som gör att även speciella legeringar med serienumret 8_{xxx} kan vara härdningsbara.

Legeringens slutliga egenskaper beror inte endast på dess sammansättning utan även på den efterföljande behandlingen av blandningen som har stor inverkan på egenskaperna. Efterbehandlingen kan till exempel vara värmebehandling som härdar materialet. Detta anges genom

en bokstav efter numreringen. Exempelvis $4_{xxx} T_x$, där ytterligare en siffra efter tilläggsbokstaven anger olika typer av respektive behandling. De vanligaste beteckningarna utefter indelning av temperatur som följer är:

F: Tillståndet betecknar tillverkning genom plastisk deformation men utan kontrollering om graden av härdning eller mjukning som följd av deformation eller värmebehandling.

O: Detta är det mest duktila tillståndet och erhålls genom anlöpning utan kallhärdning eller formning över rekristallisationstemperaturen.

H: Relaterar till deformationshärdade produkter men som inte hållits kvar vid en temperatur där det har en delvis mjukning av metallen har kunnat induceras.

T: Betecknar en värmebehandling av metallen. Det kan exempelvis vara upplösningsbehandlat, åldrat eller utsatt för en efterföljande plastisk deformation.

Samtliga tillståndsbeteckningar har även undergrupper där det specifikt beskrivs vilka behandlingar som utförts. Upplösningsbehandlingen innebär att en liten del av ett legeringsämne tillsätts och dessa atomer substituerar vissa av aluminiumatomerna vilket ger en form av lösningshärdning. Detta medför en lokal ökning av energin i materialet då förvriddningar av atomer sker. Orsaken till att det legerade materialet blir starkare är att det kräver mer energi för att förflytta dislokationerna. Ett annat sätt att erhålla högre styrka är att låta ett kristallint material minska dess kornstorlek genom rekristallisation. För att erhålla de starkaste aluminiumlegeringarna används åldringshärdning av materialet. Processen inleds med att legeringen värmebehandlas så att legeringselementen upplöses och i grundmassan. Snabb kylning av materialet genom släckning ger en mättad lösning. Vid sista steget hålls materialet vid en hög temperatur som ger ett kontrollerat sönderfall av lösningen och en fin utbredning sker. [5]

2.1.3 Aluminiumlegering 6026 T9

Denna specifika legering levereras till Mattson Metal av den svenska grossisten Tibnor AB som i sin tur inskaffar den från den italienska tillverkaren Eural Gnutti SpA. Det italienska företaget har utvecklat legeringen i syfte att uppfylla de senaste kraven vad gäller skydd av materialets miljöpåverkan. Dessa krav ställs enligt europeiska miljökrav beroende på materialets användningsområde, det kan vara avsett för bilindustrin eller inom den elektroniska sektorn. Denna legering är ännu ingen EN standard utan bara en AA (aluminium association), vilket innebär att det bara finns definierat en viss metallurgisk blandning men inga exakta fysikaliska egenskaper har fastställts. Dock finns materialegenskaper från tillverkaren men legeringen har ännu inte erkänts som en standard.

Legeringen är användbar vid bearbetande tillverkning och i svarvar med hög hastighet, den lämpar sig även till varmsmidning vilket kommer undersökas i detta projekt. När sedan materialet formats till en slutgiltig komponent har den på grund av legeringens egenskaper bra motståndskraft mot korrosion och relativt bra mekaniska egenskaper. Dess goda korrosionsresistens och möjligheten att den lämpar sig för anodisering ger både en god estetisk och dekorativ fördel samt som det ger en anodiserad yta. Ytbehandlingen medför en förstärkning av materialets oxidskikt vilket i leder till dess förbättrade korrosionsresistens.

Legeringen tillverkas genom att den extruderas eller dras och profilen får formen av en lång rundstav som sedan kan kapas till eftersträvd längd som anpassats för produktionen. Detta åskådliggörs i *Figur 1* nedan. [6]



Figur 1. Cylindriska kutsar av aluminium.

Tenn har uteslutits från sammansättningen då det visat sig leda till svaghet och sprickbildning då den utsätts för stress och höga temperaturer vid bearbetningen. Det är även tekniskt krävande att tillverka själva råmaterialet när legeringen framställs och utmaningen är att lösa in vismut som kommer att ersätta bly och förbättra bearbetningsegenskaperna. Vanliga användningsområden för just denna legering är som detaljer inom bilindustrin, eller som elektroniska komponenter inom elektronikindustrin. Den huvudsakliga formningen av detaljerna sker genom varmsmidning. Sammansättningen för legering 6026 T9 sammanställs nedan i *Tabell 2*.

Tabell 2. Sammansättning för 6026 T9. [6]

Grundämne	Mg	Si	Fe	Mn	Cu	Cr	Zn	Ti	Pb	Bi	Al
Viktsprocent (wt%)	0,6 - 1,2	0,6 - 1,4	< 0,7	0,2 - 1,0	0,2 - 0,5	< 0,3	< 0,3	< 0,2	< 0,4	0,5 - 1,0	Resterande

När legeringen behandlats erhålls ett starkare material med i stort sett samma densitet, värmeledningsförmåga och elektrisk resistans jämfört med rent aluminium. Legeringens styrka samt dess hårdhet ökar kraftigt, enligt Brinells hårdhetstest. I *Tabell 3* kan legeringens egenskaper överskådas.

Tabell 3. Materialegenskaper för legering 6026 T9 vid rumstemperatur. [7]

Mekaniska/fysikaliska egenskaper	
Sträckgräns	330 MPa
Brottgräns	360 MPa
Hårdhet (Brinell)	95 HB
E-modul	69 GPa
Densitet	2,72 Kg/m ³
Termisk utvidgning	23,4 x10 ⁻⁶ /°K
Termisk konduktivitet	138 W/mK
Elektrisk resistivitet	0,057 x10 ⁻⁶ Ω m

Inom smidningsprocessen värms ofta materialet vilket medför att dess grundegenskaper inte är de samma.

2.2 Smidning

Smidning är en process där materialet deformeras plastiskt till önskad form, detta kan ske genom användning av slutna verktyg eller öppna verktyg och antalet pressningar eller slag på materialet kan växla från en till flera. Beroende på vilket material som bearbetas varierar även vanligtvis temperatur, verktygshastighet och presskraft för att uppnå slutligt mål på komponenten som ska tillverkas. Dessa parametrar optimeras då ur formbarhets som såväl ekonomisk synpunkt. Generella fördelar med smidningen är den låga kostnad per tillverkad del det ger, goda mekaniska egenskaper och även fin kornstruktur hos materialet. Beroende på vid vilken temperatur smidningen sker benämns processerna vid kall, varm och het smidning. Där definitioner gäller enligt följande att kall smidning sker generellt vid rumstemperatur upp till en tredjedel av materialets rekristallisationstemperatur, het smidning sker över rekristallisationstemperaturen och varm smidning då i intervallet i mellan dessa. Sedan finns även isoterm smidning där skillnaden är att både kutsen och pressverktyget hettas upp till ungefär samma temperatur. [8]

2.2.1 Kall smidning

Deformation av kutsen sker vid rumstemperatur eller något över. De material som kan genomgå denna process är metaller som uppvisar duktilitet vid rumstemperatur. Smidningen går till på så sätt att kutsen placeras i ett verktyg som har utseendet av den färdiga eller nära den färdiga produkten, då efterbearbetning ibland kan vara en nödvändighet för att uppnå slutlig produkt. Kall smidning kan även ske med ett öppet verktyg. Formning kan ske i en eller flera pressningar för att forma kutsen och erhålla slutligt utseende efter verktyg. [8]

2.2.2 Varm smidning

Denna typ av smidning innebär ökad temperatur av kutsen, och i vissa fall även pressverktyg. Dock hålls de inte vid samma temperatur, pressverktyget har vanligtvis lägre temperatur än kutsen. Detta för att minska värmeflödet från kutsen till verktyget, och samtidigt underlätta pressningen då materialet är mjukare vid en högre temperatur. [8]

2.2.3 Het smidning

Vid het smidning är målet att uppnå rekristallisation samtidigt som materialet deformeras plastiskt vilket gör att deformationshårdnandet hos materialet minskar. Mindre deformationshårdnande innebär mindre kraftbehov och mindre slitage på pressverktyget. Detta då pressverktyget inte utsätts för lika mycket nötning från materialet då ifall kutsen vore under rekristallisationstemperatur. Jämfört med varm smidning är temperaturerna här högre och pressverktyget hålls vanligtvis vid en höjd temperatur dock under kutsens temperatur. [8]

2.2.4 Isoterm smidning

Skillnaden för denna process är att här värms både kutsen och pressverktyget upp till samma temperatur inför smidningen. Fördel med isoterm smidning är att det tillåter formningar av komponenter till väldigt nära färdig form. Detta innebär användning av mindre råmaterial så överflödet hos komponenten efter pressningen blir mindre. Processen nyttjas vanligtvis också för material som annars är väldigt svåra att forma med någon av de andra processerna. [8]

2.3 Formar och pressverktyg

Användningen av slutna och öppna verktyg varierar beroende på vilken produkt som ska tillverkas och dess utseende. Vid användning av slutna verktyg innesluts arbetsstycket helt och komponenten formas i inneslutningen i mellan dem, medan vid enklare former används öppna verktyg av en mer enkel karaktär. De kan bestå av två plana skivor som bara kontrollerar materialflödet i press eller slagriktning, men mer avancerad former förekommer såsom t.ex. konkava och konvexa ytor. Det som karakteriserar denna metod är att verktygen inte omsluter kutsen helt vid bearbetningen. Smidning i slutna verktyg innebär användandet av två eller flera verktygsformar som omsluter kutsen helt. I och med att materialflödet i dessa verktyg då är väldigt kontrollerat tillåter det lägre toleranser och tillverkning av mer komplicerade detaljer. [8, 9]

I båda fallen ovan och för de flesta formningar hos komponenter fås så kallat skägg vilket är överblivet material från pressningen. Skägget är en del i designen av verktyget där överflödigt material flyter ut i springan mellan verktygsdelarna. Allt detta för att det ska finnas extramaterial att tillgå för att undvika sprickbildning. För att sedan bli av med detta överblivna material måste delen vidare bearbetas och det kan ske genom stansning eller fräsning.

Dessa pressverktyg utgörs verktygsstål som är mycket hårt material för att det ska behålla sin form under lång användningstid. Verktyget ska även klara påfrestningar från kraftiga temperaturändringar och termisk utmattning. Viktigt är även beständig hållfasthet vid förhöjd temperatur samt god seghet i alla riktningar.

Vid Mattson Metal används dessa pressverktyg till formningen i deras tryck- och skruvpressar. För att kunna tillverka komponenter till kunderna köper de in det råmaterial som ska utgöra pressverktyget, råmaterialets sammansättning är sammanställt i *Tabell 4* nedan. [10]

Tabell 4. Riktanalys hos verktygsstålet. [11]

Grundämne	C	Si	Mn	Cr	Mo	V
Viktsprocent (wt%)	0,39	1,0	0,4	5,2	1,4	0,9

Med hjälp av en datoriserad svarv kan de programmera in data som innehåller komponentens dimensioner och svarven fräser sedan ut en form i råmaterialet där den pressade legeringen ska flyta ut. Under denna process borras även hål i verktyget där infästningen i pressen sker. När komponenten pressats behövs den då på ett enkelt sätt kunna föras bort från verktyget. Genom att borra hål i formen kan små stavar stickas in underifrån för att efter pressningen mata ut den formade komponenten. Slutligen sker slipning för att erhålla en fin och jämn yta. Efter användning och pressning vid grov bearbetning kan verktyget avspänningsglödgas och sedan kylas för att återställa materialet från tidigare påfrestningar vid bearbetningen.

2.4 Smörjmedel

För att underlätta kontakten mellan två ytor används ett smörjmedel som minskar friktionen. Detta är viktigt vid smidning då det blir enklare för metallen att flyta ut mot formen. Under extrema förhållanden som vid höga temperaturer används fasta smörjmedel som innehåller grafit eller mjuka metaller som silver eller bly. Smörjmedlet som används i detta projekt tillverkas av Acheson och har beteckningen Dag 554/20. Dess huvudingredienser utgörs av en grafit och vattenlösning. Ett av de mest förekommande användningsområden är vid tillverkning av applikationer inom bilindustrin där just komplex formning av aluminiumkomponenter är vanligt. Dess goda vidhäftning gör att den kan appliceras genom att ett tunt lager sprayas på eller genom att hela delen doppas i ett bad av smörjmedlet vilket kommer att ge goda värmeledningsegenskaper. Smörjmedlet har även fördelen att undvika bildning av flockar ifall omrörning inte sker kontinuerligt. [10]

3. Experiment

3.1 Smörjmedlets effekt vid smidning av aluminiumkutsar

För att studera effekten av smörjmedel utfördes ett enkelt kompressionstest. Två kutsar (30x50mm) av Al 6026 T9 stukades i två tillstånd mellan två plana parallella verktyg till 50 % av sina ursprungliga höjd. I det ena försöket var kontaktytorna mellan kutsen och verktyget smorda med en grafitlösning, medan i det andra försöket var de osmorda. Båda kutsarna komprimerades kallt, dvs. vid rumstemperatur. Resultat av detta experiment framgår av *Figur 5-6*.

3.2 Temperaturens inverkan på gravyrfyllnad vid smidning

Detta experiment utfördes för att efter smidningen studera gravyrfyllnaden beroende på kutsens temperatur. Kutsarnas temperaturer valdes i ett stort intervall för att kunna se skillnad i gravyrfyllnad och krävd presskraft. Pressverktyget värmdes även upp för att underlätta utfyllnaden och minimera temperaturförlusten hos kutsarna. Detta möjliggjordes genom utlånat pressverktyg av Mattsson Metal och användning av pressmaskin vid Högskolans Dalarnas bearbetningscentrum.

Vid detta experiment användes aluminium kuts av *Al-6026 T9* med dimensionen 30x80mm (diameter x höjd), se *Figur 2*. Pressverktyget, se *Figur 3*, smordes in med det tidigare nämnda smörjmedlet.



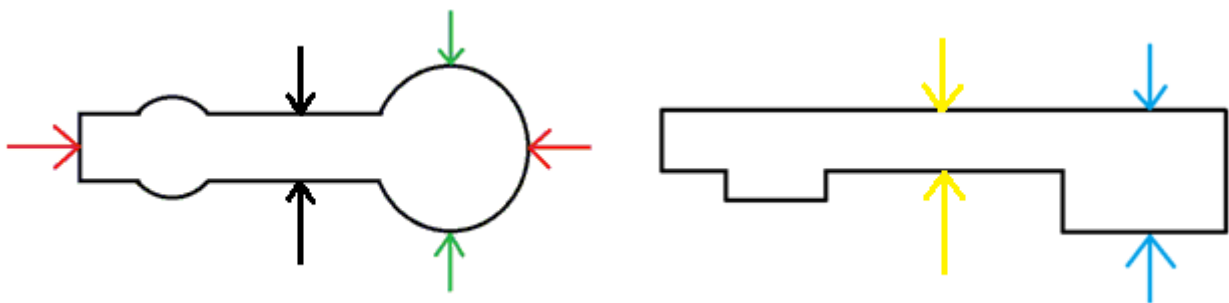
Figur 2. Cylindrisk kuts.



Figur 3. Till vänster, undre verktyget. Till höger, övre verktyget

Till en början värmdes både kutsarna och pressverktyget upp till förutbestämda temperaturer i ugnar. Kutsarnas smids temperatur valdes i intervallet (400 – 470 °C) medan pressverktygets valdes till 200 °C för alla försöken. Efter uppvärmningen fördes kutsarna samt pressverktyget till den hydrauliska pressmaskinen. Innan de utsattes för pressning smordes pressverktyget in med smörjmedlet för att underlätta materialflödet och utfyllnaden av formen. Därefter pressades kutsarna en i taget för de valda temperaturerna. Den aktuella presskraften avlästes på hydraulpressens givare. Kutsarna svalnades sedan efter pressningen ner till rumstemperatur. Inga hjälpmedel användes för att kyla kutsarna utan enbart naturlig svalning i rumstemperatur. Detta möjliggjorde sedan en jämförelse mellan kutsarna och temperaturens inverkan på utfyllnaden i pressverktygets form.

Efter smidningen rengjordes komponenterna med hett vatten och därefter inspekterades de visuellt. Tre utvalda dimensioner på komponenten mättes för vidare jämförelse. Dessa dimensioner illustreras nedan i figur 4. De gröna pilarna representerar diametern, d , de röda pilarna längden, l , de blå pilarna tjockleken, t , de svarta pilarna midjan, m , och de gula pilarna midjans höjd, h .



Figur 4. Illustration av var mätningar skett.

4.Resultat

4.1 Smörjmedlets effekt vid smidning av aluminiumkutsar

Kutsen stukades ner till 25 mm, dvs. hälften av sin ursprungliga höjd på 50 mm. Kraften som krävdes för denna operation var ca 60 ton.



Figur 5. Stukad kuts utan smörjning.

På grund av saknaden av smörjmedel har en spricka uppkommit i den stukade kutsen, se *Figur 5*. Friktionen tillåter inte materialet vid kontaktytan att förflytta vilket ger sidorna på den stukade kutsen en utbuktning. Denna utbuktning ger i sin tur att spänningen koncentreras till mitten av utbuktningen och när spänningen är hög nog spricker materialet.

Samma deformation av ytterligare en kuts med samma dimensioner utfördes, men denna gång smordes kontaktytorna mot pressmaskinen in. Kraften för deformation var 40 ton.



Figur 6. Stukad kuts med smörjning.

Efter stukning med smörjmedel, se *Figur 6*, underlättas materialet att förflytta sig vid kontaktytan mot verktyget. Detta leder till att inte utbuktning inte sker i lika stor grad. Hela kutsen förändras mer likformigt vid dess expansion och inga spänningskoncentrationer utmed sidorna uppstår därmed undviks sprickor.

Resultaten från experimenten visar att den kuts som smorts in kräver mindre kraft för samma deformation som den osmorda kutsen. Detta tyder på att smörjmedlet minskar friktionen mellan kontaktytorna mellan kutsen och pressen vilket underlättar materialflödet vid deformation. I *Figur 5* ses det att för den osmorda kutsen har sprickor propagerat utefter sidan vilket inte sker för den smorda kutsen.

4.2 Temperaturen inverkan på gravyrfyllnad vid smidning

De komponenter som pressats under experimentet jämfördes med dimensionerna på en referens från företaget Mattson Metal.



Figur 7. Referens komponent.

Mått: $d = 40$ $l = 113,5$ $t = 16,5$ $h = 8$ $m = 12$ (mm)

Försök 1



Temperatur: 400 °C
Presskraft: 60 ton
Mått: $d = 37,5$ $l = 99$ $t = 21$ $h = 12,5$ $m = 12$ (mm)

Försök 2



Temperatur: 400 °C
Presskraft: 140 ton
Mått: $d = 40$ $l = 97$ $t = 19$ $h = 11$ $m = 12$ (mm)

Försök 3



Temperatur: 400 °C
Presskraft: 190 ton
Mått: d = 40 l = 113,5 t = 18 h = 10 m = 12 (mm)

Försök 4



Temperatur: 400 °C
Presskraft: 250 ton
Mått: d = 40 l = 114 t = 18 h = 9,5 m = 12 (mm)

Försök 5



Temperatur: 420 °C
Presskraft: 250 ton
Mått: d = 40 l = 111,5 t = 17 h = 9 m = 12 (mm)

Försök 6



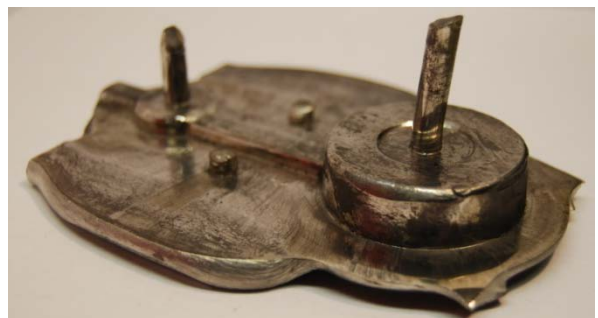
Temperatur: 420 °C
Presskraft: 280 ton
Mått: d = 40 l = 113,5 t = 17,5 h = 9 m = 12

Försök 7



Temperatur: 445 °C
Presskraft: 280 ton
Mått: d = 40 l = 112 t = 17,5 h = 9,4 m = 12 (mm)

Försök 8



Temperatur: 450 °C
Presskraft: 280 ton
Mått: d = 40 l = 108 t = 17,5 h = 9 m = 12 (mm)

Försök 9



Temperatur: 450 °C
Presskraft: 280 ton
Mått: d = 40 l = 112 t = 17,5 h = 9 m = 12 (mm)

Försök 10



Temperatur: 470 °C
Presskraft: 280 ton
Mått: d = 40 l = 110 t = 17,5 h = 9 m = 12 (mm)



Figur 8. Närbild på ytan.

Utvärdering av resultat

400 °C: Vid denna temperatur kan materialet inte fyllas ut efter kanterna med använd presskraft. Vid *Försök 1* var presskraften alldeles för låg vilket leder till att komponenten och dess skägg blir för tjockt, även utfyllnaden vid svansen är dålig. I de senare försöken används större presskraft men materialet fyller ändå inte ut formen, komponenten blir fortfarande för tjock.

420 °C: I *Försök 5* har kutsen troligtvis legat lite felplacerad i formen innan pressningen utfördes. Detta gör att utfyllnaden blir sämre än tidigare försök. De tidigare försöken visar även att de inte är nödvändigt att använda alltför låg presskraft då minst 250 ton krävdes i våra försök för att få ihop pressverktyget fullständigt. *Försök 6* visar att högre temperatur och presskraft ger bättre utfyllnad.

445 - 470 °C: Med undantag från den kuts som värmdes till 445 °C i *Försök 7* ses att vid 450 °C fylls materialet ut till större del än tidigare. En finare komponent erhålls genom att kanterna på den cylindriska delen har fyllts ut. 470 °C kan ses i överkant då ingen tydlig förändring har skett från 450 °C.

Resultaten från experimentet visar att utfyllnaden beror av temperaturen och presskraften. Om för liten presskraft används orkar den inte att pressa ihop formen vilket leder till att komponentens

tjocklek blir större jämfört med referensen. Om temperaturen 450 °C överstigs syns ingen betydande skillnad på utfyllnaden. Vidare visar att för låg temperatur ger dålig gravyrfyllnad. Som sett i *Försök I-6* vid temperaturerna 400 °C till 420 °C får kutsen inte önskat utseende då kantfyllnaden är dålig.

Vid visuell inspektion av ytan efter smidning och efter att den rengjorts med hett vatten ses en svart/grå missfärgning, se *Figur 8*, på alla de smidda komponenterna. Vid vidare rengöring genom att skrapa bort missfärgningarna i form av smörjmedelsrester framträder en ojämn yta.

5. Diskussion

Enligt experimentet med smörjning av kutsar ses effekten av smörjmedlets inverkan på presskraften och reducering av friktion mellan kontaktytor. Smörjmedlet tillåter materialet att flyta mer fritt vilket medför att sprickbildning kan undvikas som uppstod då kutsen inte smordes innan pressning.

Försöken visar att en viss temperatur inte behöver överskridas då ingen tydlig förbättring av utfyllnaden sker. Det är viktigt att veta då man ur en ekonomisk synpunkt inte vill använda högre temperaturer än nödvändigt på grund av höga värmekostnader och slitage. Därför skulle det i vårt fall räcka med en temperatur på 450 °C. Men problemet med att perfekt utfyllnad av formen inte fås kan bero på att pressverktygets hastighet inte kunde ökas.

Experimenten som utförts har haft vissa restriktioner vilket har lett till att problemet inte har kunnat utredas till fullo på grund av begränsningar hos tillgänglig utrustning. Felkällor som uppkommit under experimenten behöver därför tas upp.

Pressverktygets hastighet på hydraulpressen har inte varit ställbar vilket har reducerat möjligheten till att variera ännu en parameter. Detta har möjligtvis lett till att materialet inte har kunnat flyta ut tillräckligt snabbt innan det utgör ett för stort motstånd för hydraulpressen. En större kraft än 280 ton har heller inte kunnat användas i experimenten på grund av begränsningar hos hydraulpressen.

Ytterligare en anledning till sämre utfyllnad var hålen som är till för att slå ur komponenten från formen. Montering av utrustningen som användes i detta experiment möjliggjorde inte ifyllnad av dessa hål på det sätt det var avsett att göra. Materialet har därför vid pressningen kunnat flyta ut i dessa hål istället för att fylla formen. Dock är volymen på dessa hål inte så stor men ger ändå ett betydande resultat av utfyllnaden i kanterna.

Större delar av kvarstående smörjmedel efter smidning går att ta bort med hett vatten, dock kvarstår ändå vissa missfärgningar. De svart/grå missfärgningarna på komponenterna kan vara rester av smörjmedlet som koncentrerar sig till vissa ställen och som endast går att få bort genom att skrapa på ytan. På de ställen där det koncentrerat sig fås ett extra tjockt lager av smörjmedel vilket ger en ojämn yta under de bortskrapade resterna.

6. Slutsats

Resultaten från utförda experiment har lett till följande slutsatser:

- Smörjmedlet minskar friktionen mellan kontaktytor vilket gör det lättare för materialet att flyta ut i formen.
- Förvärmningen av kutsen behöver inte ske över 450 °C då det inte ger någon tydlig förbättring av gravyrfyllnad i formen.
- För kutsens temperatur på 450 °C och med pressverktygets hastighet på ca 10 mm/s krävs en presskraft på minst 280 ton för att bästa möjliga gravyrfyllnad ska ske.

6.1 Förslag till fortsatt arbete

För att vidareutveckla detta projekt kan experimenten utökas genom att olika smörjmedel testas för att erhålla ett bredare resultat. Även ytterligare temperaturer kan väljas i ett bredare intervall för större noggrannhet. Samt att experimenten utförs där möjligheten till att variera pressverktygets hastighet finns. Vidare kan en mer omfattande analys göras av ytan efter smidning.

7. Referenser

- [1]. <http://www.aluminiumriket.com/sv/aluminium/aluminium.php> (2011-04-22 12:29)
- [2]. <http://www.alutrade.se/alutrade/sv/tillverkning/tillverkning.php> (2011-04-22 12:30)
- [3]. <http://np.netpublicator.com/netpublication/n71138330> (2011-04-22 12:33) Sidorna 40-42
- [4]. <http://www.precisionsheetmetal.com/home/materials.htm> (2011-04-22 12:38)
- [5]. <http://www.aluminiumguiden.se/om-aluminiumprodukter.htm> (2011-04-22 20:35)
- [6]. <http://www.eural.com/wp-content/uploads/barre6026-en.pdf> (2011-03-24 21:55)
- [7]. http://www.amari-aerospace.com/products/datasheets/Aluminium-Alloy_6026-T9_143.aspx
(2011-04-22 12:43)
- [8]. Altan, Taylan. Cold and Hot Forging: Fundamentals and Applications, publ. 02-2005, ISBN: 9781615030941
- [9]. <http://www.forging.org/facts/faq9.cfm> (2011-04-28 14:37)
- [10]. Informationsblad från Mattson Metal

Övriga kontakter:

Max Fjästad, Group purchasing manager - NF metals, Tibnor AB, max.fjaestad@tibnor.se

Pirro Backsell, Production Manager, Mattsson Metal, pirro.backsell@mmetal.se

8. Erkännanden

Ett stort tack till följande personer som bidragit till att projektet har kunnat genomföras.

Pirro Backsell, kontaktperson vid Mattson Metal. Bidragit med information och guidad rundvisning vid företagets lokaler i Mora. Företaget har även bidragit med aluminiumkutsar och pressverktyg.

Calle Norman, tekniker vid Högskolan Dalarnas bearbetningscentrum. Handledde studenterna vid utförande av experimenten.

Bengt Lövgren, kontaktperson vid Triple Steelix. Tagit kontakt med Mattson metal och inlett kommunikation som ledde till projektets start.

Till sist ett tack till vår handledare Hamzah Ssemakula.



HÖGSKOLAN
DALARNA

Högskolan Dalarna

791 88 Borlänge

Tel 023-77 80 00

Rapport 2011: E 4053 MT

ISBN

ISSN

