



Formsprutningsverktyg i magnesium

Kandidatarbete inom civilingenjörsprogrammet för maskinteknik

LINN MYRTHIL SKAGERLIND

EMIL ÖDEBRINK

LINUS LARSSON

Institutionen för material- och tillverkningsteknik

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2012

Kandidatarbete Nr 2012:02

Formsprutningsverktyg i magnesium

Kandidatarbete Nr 2012:02

LINN MYRTHIL SKAGERLIND , EMIL ÖDEBRINK, LINUS LARSSON

© LINN MYRTHIL SKAGERLIND , EMIL ÖDEBRINK, LINUS LARSSON

Handledare: Mats Norell
Institutionen för material- och tillverkningsteknik
Chalmers tekniska högskola

Examinator: Mikael Rigdahl
Institutionen för material- och tillverkningsteknik
Chalmers tekniska högskola

Omslag:
Fotografi på plastgranulat av polystyren tillsammans med detaljer formsprutade i magnesiumverktyg. Foto av Linus Larsson.

Sammandrag

Ett formsprutningsverktyg i magnesium togs fram för att utröna möjligheterna att använda metallen för denna applikation. Det gjordes en litteraturstudie inom området med fokus på formsprutning, magnesium och bearbetning. Syftet med arbetet var att undersöka inte bara om det var möjligt att formspruta i magnesium utan även hitta en nisch där det skulle vara ekonomiskt fördelaktigt.

Formsprutningsprocessen är en vanlig och effektiv tillverkningsmetod som kan användas med flera plaster. Kraven på verktyget är många då det ofta används i miljoner cykler. Framförallt är det repeterbarhet och ytfinhet som eftersträvas. Magnesium har sämre mekaniska egenskaper än samtliga konventionella material men det är ett lättbearbetat material och värmeledningsförmågan är god vilket talar för att det kan vara användbart vid tillverkning av mindre serier.

Ett färdigt verktyg framställdes i legeringen AZ31B och en enkel geometri formsprutades. Formsprutningen fungerade rent tekniskt och det visades därmed att möjligheten finns även om hänsyn behöver tas till flera faktorer om ett kommersiellt verktyg skall tas fram. De främsta fördelarna med magnesium är då en stor mängd material behövs avverkas eller en komplex geometri behövs framställas.

Abstract

An injection mold in magnesium was produced in order to investigate the possibility of using the metal for this application. A literature study was preformed focusing on injection molding, magnesium and machining. The goal of the thesis was to look into not just the possibility of injection molding with magnesium but also if there is a niche where it is economically justifiable.

The injection molding process is frequently used and an effective method of manufacturing with commonly used plastics. The requirements on the mold are many since it is often used for millions of cycles. Above all repeatability and surface finish is sought for. Magnesium have lower mechanical properties than the conventional materials used for injection molding but it is however easy to machine and has a high thermal conductivity which implies that it could be used for small series.

A mold was produced from the alloy AZ31B and a simple geometry was injection molded. The injection molding was satisfying from the technical point of view and indicated that the possibility exists although several factors need to be taken into account if a commercially viable mold is to be produced. The main advantages with magnesium as a mold material are its rapid processing abilities and the possibility to achieve complex geometries.

Innehållsförteckning

1.	Inledning.....	1
1.1	Bakgrund.....	1
1.2	Syfte.....	2
1.3	Avgränsningar.....	3
2.	Metod.....	4
2.1	Litteraturstudie	4
2.2	Företag	4
2.3	Materialval.....	4
2.4	Design och tillverkning	5
2.5	Analys	5
3.	Formsprutning och verktygst teori	6
3.1	Formsprutningsprocessen.....	6
3.2	Formsprutningscykeln	7
3.3	Polymera material.....	9
3.3.1	Egenskaper och tillsatser	10
3.3.2	Krympning.....	10
3.4	Formen och dess delar	11
3.5	Verktygsmaterial	13
3.5.1	Stål	13
3.5.2	Kopparlegeringar.....	14
3.5.3	Aluminium	14
4.	Magnesium och bearbetning.....	15
4.1	Magnesium som verktygsmaterial	15
4.1.1	Användning.....	16
4.1.2	Framställning	16
4.1.3	Legeringar och dess egenskaper	16
4.1.4	Korrosion	17
4.1.5	Mekaniska egenskaper hos magnesium.....	18
4.2	Bearbetning av metaller	20
4.2.1	Skärvätskor	21
4.2.2	Gnistning	21
5.	Provning och resultat	23
5.1	Plastteknik.....	25
5.2	Utformning och CAD.....	25
5.3	Kravspecifikation.....	27
5.4	FEM-analys.....	27
5.5	Resultat av provning	28
6.	Diskussion	31
7.	Rekommendationer	35
8.	Slutsats	36
	Källförteckning.....	37
	Bilaga 1 – Kravspecifikation	39
	Bilaga 2 – Ritning.....	40
	Bilaga 3 – Properties of magnesium alloys	40

1. Inledning

1.1 Bakgrund

Verktyg för formsprutning av plastkomponenter görs vanligen i högvärdigt stål. Att göra formsprutningsverktyg i stål är kostsamt på grund av att bearbetningen är dyr. Verktöygs kostnaden utgör ofta en stor del av investeringskostnaden vid inköp av en formsprutad detalj. Dock gör stålets egenskaper, till exempel dess höga hållfasthet, att fler cykler kan köras och därmed kan användning av dyra verktyg ekonomiskt rättfärdigas. En vanlig livslängd hos ett verktyg för stora serier ligger rimligen i storleken 1-2 miljoner cykler. För mindre serier blir dock verktöygs kostnaden snabbt en stor kostnadsbärare beroende på utformningen av detaljen. I den utsträckning som korta serier förekommer sker detta ofta som en del av kvalitetssäkring av tillverkningsprocessen för en produkt, om ca 1000 cykler.

Möjligheterna att använda ett formsprutningsverktyg i magnesium är både ur en ekonomisk- och tillverknings synpunkt intressanta att undersöka. Frågeställningar kring ämnesområdet har uppstått då det finns potential att vara ett enklare, snabbare samt billigare alternativ att göra verktyg av, med fokus på korta serier eller komplexa geometrier. I fall då komplexa geometrier önskas kan magnesium ha fördelar gentemot stål då magnesium är enklare att bearbeta med skärande bearbetning. Den enkla bearbetningen, med den kortare maskintiden som medföljer, gör även att priset sänks för likvärdiga geometrier jämfört med andra verktöygs material. En fördel med ett formsprutningsverktyg i magnesium är att det både möjliggör korta serieproduktioner i allmänhet samt kan ingå som en del av prototyp testning. Det öppnar även upp för att göra billigare ändringar längre in i en projektprocess. Det finns dock flera egenskaper som talar emot användandet av just magnesium. Metallens låga smälttemperatur gör att formfastheten sänks vid temperaturer som riskerar att ligga inom formsprutningsprocessens intervall. Även om temperaturerna ligger inom gränserna har magnesium låg hållfasthet vilket kan minska de möjliga geometrierna, till exempel vägg tjocklek, samt förkorta verktöyets livslängd. Det finns även risker för abrasiv nötning på verktöyget vid formsprutning av vissa plaster, det vill säga plasten sliter bort partiklar från verktöyets yta.

1.2 Syfte

Projektet kommer under vårterminen 2012 att utvärdera möjligheterna att formspruta plast i ett magnesiumverktyg samt undersöka vad som avgör magnesiums lämplighet som verktygsmaterial i formsprutor med fokus på småserieproduktion. Utöver en fördjupning i hur ett verktyg kan utformas är målsättningen att projektet skall resultera i att ett verktyg tillverkas och en plastdetalj formsprutas. Detta för att kunna verifiera att materialet är möjligt att använda.

För att tydligare konkretisera vad arbetet kommer att mynna ut i har projektet brutits upp i ett par övergripande frågor som besvaras i rapporten. Detta för att ge en övergripande bild av rapportens upplägg.

Hur ser en formsprutningsprocess ut?

För att förstå vad det skulle innebära att använda magnesium som verktygsmaterial i en formspruta krävs kunskap om den grundläggande processen. Detta inleder arbetet och behandlas i första teorikapitlet för att tidigt visa upp komplexiteten i de konventionella processerna.

Vilka är de traditionella verktygsmaterialen och vilka är deras egenskaper?

De traditionella verktygsmaterialen samt verktygsfunktionerna har även de tidigt studerats och redovisas för i första teorikapitlet. Det är även av stor vikt att tidigt i teorin belysa vilka krav som formsprutningsprocessen ställer på verktyget. Detta dels för att sådant behöver has i åtanke vid framtagningen av verktyg till provning och dels för att kunna utvärdera magnesiums lämplighet som verktygsmaterial. Förhoppningen är att med denna information kommer de fördelar och utmaningar som magnesium för med sig tydligare framhävas.

Vilka fördelar respektive nackdelar erbjuder magnesium som verktygsmaterial?

Det är grundläggande för arbetet att förstå sig på magnesium och utröna vilka egenskaper metallen besitter, speciellt i legerad form. Det har i denna fråga varit av stor vikt att ta ett helhetsgrepp för att kunna fånga upp tillräckligt med kunskap för att kunna göra en riktig bedömning om vilka förutsättningar metallen har att skaffa sig en nisch inom formsprutning. Det innebär att det bör undersökas både vilka geometriska fördelar som finns vid användandet av magnesium och vilken kvalitet som kan uppnås vid användning av det okonventionella materialet. Interesse har även lagts vid hur magnesium reagerar tillsammans med andra metaller. Detta arbete redovisas i kapitel 4.

Går det att höja lönsamheten med magnesiumverktyg?

Finns det en nisch eller plats för magnesium som verktygsmaterial där industrin kan bli mer konkurrenskraftig genom att exempelvis optimera tillverkningstiden vilket medför sänkta kostnader? Det grundläggande antagandet är då framförallt att bearbetningen, att åstadkomma geometrin, är den stora kostnadsbäraren vid verktygsframställning. Utifrån detta läggs fokus på att undersöka hur bearbetningstiden för magnesium förhåller sig mot mer konventionella material som stål och aluminium. Detta redovisas i kapitel 4.

Hur är möjligheterna för oss att kunna utveckla, tillverka, prova och analysera ett verktyg?

Det var viktigt att tidigt i projektet undersöka vilka möjligheter som fanns att kunna formspruta en prototyp. Det innebar att tillgång på material, verkstadsutrustning samt formspruta behövde fastställas. Ett test har inget egenvärde om inte resultaten som erhålls analyseras, därför kommer även detta att i möjligaste mån genomföras efter en beskrivning av själva provningen. Testernas genomförande, analys och utformning beskrivs i kapitel 5.

1.3 Avgränsningar

För att uppnå projektets mål kommer fokus ligga på tekniken och ingenjörskonsten bakom formsprutning och metallbearbetning, välbeprövad teknik appliceras i ett nytt sammanhang – magnesium.

Produktansvar blir allt mer uppmärksammat och högre krav ställs på utvinnings-, tillverknings- och deponiprocesser. I formsprutning har dock verktyget en liten miljöpåverkan i relation till slutprodukterna, som oftast skapas från ett fossilt råämne. Det kommer därför inte göras någon noggrann undersökning av miljöpåverkan.

För att kunna formspruta har ett verktyg tillverkats för att vara applicerbart i den formsprutningsmaskin som finns tillgänglig. Den del som tillverkats är en utbytbar insats på ca 50 x 50 x 10 mm. Det har alltså inte skett någon generell konstruktion av verktyg i magnesium. Tillverkningen kommer att överlåtas till personal på Chalmers och utformningen av detaljen kommer att begränsas av de verktyg och maskiner som finns tillgängliga på Chalmers. Vid formsprutningen har ingen hänsyn tagits till värmefördelning i sprutan och verktyget. Inte heller har det funnits möjlighet att testa och mäta kylning och olika tryck. Istället har de tidsresurser som funnits fokuserats på att lyckas formspruta en felfri detalj.

I arbetet har inga exakta siffror över verktygskostnader gjorts, det hade varit både mödosamt och legat utanför projektets fokusområde. Istället låg fokus på att visa vilka övergripande kostnadsfördelar magnesium har jämfört med övriga material.

2. Metod

2.1 Litteraturstudie

Inför rapporten krävdes extra specialkunskaper inom vissa områden. De övergripande ämnesområdena som studerades närmare är formsprutning och dess komponenter samt magnesium, vilka analyserats ur ett funktions- och tillverkningsperspektiv. En litteraturstudie genomfördes för att bredda möjligheten att särskilja relevanta fakta i mer djupgående litteratur. Relevant litteratur diskuterades med Mats Norell (Univ. lektor, yt-och mikrostrukturteknik), Antal Boldizar (Professor, polymera material och kompositer) och Gustav Holmqvist (Tekniklektor, tillverkningsteknik). Detta genomfördes för att få en argumenterande grund för det fortsatta undersökningsarbetet.

2.2 Företag

Kontakt har sökts med företag vars verksamhet innefattar formsprutning eller magnesium. De kontakter som var givande är FERBE Tool AB (formsprutningsverktyg), Plastteknik (formsprutning) och KG Fridmans (magnesium). Vid kommunikation med dessa företag ökade insikten i vilka material som är aktuella att använda för deras specifika produktion, deras teknik samt deras åsikt angående magnesiums potential inom branschen. Det flesta kontakter hölls via email och telefon då relevanta aktörer inte befann sig i närområdet. Det företag som besöktes var Plastteknik inom Nolato koncernen. Plastteknik ligger på Exportgatan 59, Hisingen (Göteborg). Där var Jari Kallio kontaktperson och en informell intervju genomfördes vid en rundvandring i deras lokaler. Kallio kunde bidra med verklighetsförankrade tips som använts i arbetet. Deras rekommendationer för toleranser och mått bidrog till insikt om möjlig tillverkning av eget verktyg. Att se formsprutning i produktion var givande då det gav en tydligare bild av hur processen fungerar kontra endast en litteraturstudie.

2.3 Materialval

Det skall utrönas vilken typ av magnesiummaterial som lämpar sig för formsprutningsverktyg. Både gjutna och smidda legeringar har studerats. Relevant information som söktes är mekaniska

egenskaper, temperaturegenskaper och ytfinhet. Utifrån de krav som ställs på en formsprutningsprocess skall olika material jämföras med varandra på dessa punkter.

Ett val av vilken legering som skall användas till verktygstillverkningen behöver göras. Dock begränsades valet av material till verktyget som framställdes i projektet av vad som fanns tillgängligt på marknaden i Sverige.

Valet av plast som skall formsprutas vid testerna grundades i hur applicerbar den är med magnesium. Viktiga egenskaper som har varit väsentliga är bland annat låg smälttemperatur och fördelaktiga reologiska egenskaper.

En jämförande materialanalys genomfördes i samband med diskussionen för att konkret utröna magnesiums lämplighet. Analysen skedde mot den genomförda teoristudien där ett antal andra materialalternativ togs upp. I och med att magnesium inte används i dagsläget så är ekonomianalysen spekulativ, men däremot är användbarheten av magnesium fysikaliskt storhetsstyrd.

2.4 Design och tillverkning

Testverktyget av magnesium tillverkades under påsken 2012, och färdigställdes vecka 16. Tillverkningen kunde ske efter att en kravspecifikation upprättas med mått från befintligt verktyg och med Plasttekniks experthjälp. Utifrån kravspecifikationen kunde ritningar göras. Där låg svårigheten i att yttermåttan skall passa i befintlig kassett (se figur 11). Utifrån önskemål från institutionen för material- och tillverkningsteknik kunde även en form för den formsprutade plastdetaljen fastställas. Efter diskussion med institutionen kunde ett önskemål fastställas att kunna starta ett fortsättningsprojekt där noggrannheten i att formspruta små komponenter undersöks, mikoformsprutning. Detta genom att arbeta vidare med mittpartiet på verktyget för att ta fram en Fresnellins. En Fresnellins är en plattlins som används bland annat i overheadapparater och i fyrar. Linsen delas upp i cirkulära ringar som sedan trycks ihop så att den uppfattas som platt, ytan ser då ut som taket på en gammal fabrik, när linsen ses i förstoring. Denna lins skall få plats hos en yta om 5 x 5 mm.

Materialet som valdes för verktyget blev det som fanns tillgängligt på marknaden. Valsat magnesium finns endast i legeringen AZ31 i lager. KG Fridmans efterskänkte ett tillräckligt stort stycke AZ31 för att göra tillverkningen möjlig. Håkan Millqvist som är verkstadsansvarig på institutionen för material- och tillverkningsteknik stod för bearbetningen, då precisionen på verktyget är hög.

2.5 Analys

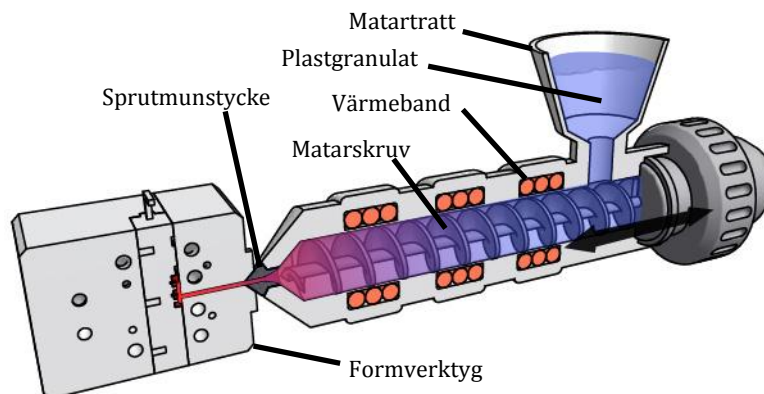
Fokus låg på att försöka hitta omedelbara defekter i verktyg och plastdetalj. Detaljerna mättes noga samt inspekterades. Även verktyget inspekterades mellan varje cykel när en ny detalj hade tillverkats. På grund av tidsbrist kunde ingen mer ingående vetenskaplig analys genomföras där bland annat ytstrukturen hade kunnat undersökas på mikronivå. Förutsättningarna för att kunna formspruta i ett magnesiumverktyg är bestämda till den grad att formtrycket, temperaturer, etcetera är känt. Vid testerna användes polystyren då den är en amorf polymer och är bra för att göra en Fresnellins. Formsprutningsinställningarna itererades fram till den grad att slutprodukten blev tillräckligt bra. Med denna typ av process framträder relationen mellan de olika storheterna till exempel tryck och kyltid kontra kvalitet hos plastprodukten.

3. Formsprutning och verktygsteori

3.1 Formsprutningsprocessen

Den växande efterfrågan av effektivitet, krav på precision, hänsynstagande till miljöaspekter samt repeterbarhet gav formsprutning fotfäste på marknaden. Utvecklingen av formsprutning har skapat möjligheter inom teleteknik, elektronik och medicinsk apparatteknik. Formsprutning utgör en av de viktigaste bearbetningsmetoderna för polymerer, framförallt termoplaster (Klason, Kubát, 2002, s.231). Fördelarna med formsprutning är att komplexa former av varierande storlek kan produceras samt att en hög produktionstakt och goda toleranser kan hållas.

Formsprutningsmaskinen fungerar på så sätt att plastgranulat fylls på i matartratten (se figur 1) vilken leder den solida plasten in i maskinen till den uppvärmda cylindern. Cylinderns temperatur höjs med hjälp av värmeband vilket i sin tur smälter plasten. En stor skruv är placerad i cylinderns centrum och med dess rotationsrörelse förflyttar polymeren framåt mot munstycket. Skruven fyller ytterligare en funktion då den pressar in plasten i formverktyget. Initialt förflyttas skruven bakåt så att nytt plastgranulat fylls på samtidigt som den redan uppvärmda plasten plasticeras. När tillräcklig mängd smälta finns framför skruven slutar rotationen och en axialrörelse pressar in smältan i verktyget (Hågeryd, Björklund, Lenner, 2002, s.388). På nytt förs skruven bakåt och en ny cykel inleds.

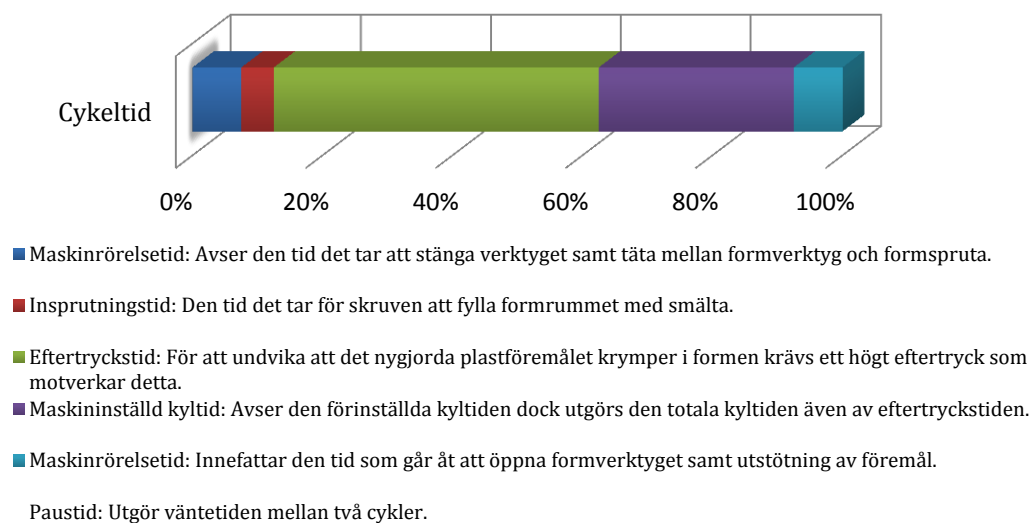


Figur 1 Principskiss av en formspruta.

3.2 Formsprutningscykeln

Formsprutningstekniken går ut på att värma upp plastgranulat tills det plasticeras och sedan spruta in den varma smältan i ett kallt verktyg där plasten stelnar i formen och slutligen stöts föremålet ut. Faktorer som påverkar kvaliteten av slutresultatet är tryck, temperatur, tid och flödes hastighet. I figur 2 illustreras cykeltiden i en formsprutningscykel.

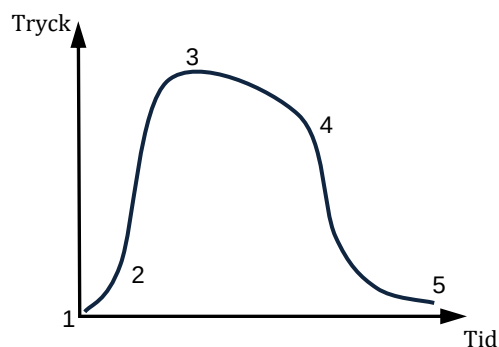
Den totala cykeltiden ges av summan av nedanstående deltider. Generellt sett utgör insprutningen ca 5 %, kylningen (med och utan tryck) ca 80 % och maskinrörelserna ca 15 % av den totala tiden i en cykel (Klason, Kubát, 2002, s. 232).



Figur 2 Cykeltid för en formsprutningscykel.

Tryck-tid-diagram

Trycket är en mycket viktig parameter i formsprutningsprocessen och den avgör kvaliteten hos den färdiga detaljen. I figur 3 illustreras variationerna av trycket i formen med avseende på tiden. Förloppet vid formsprutning av plastdetaljer kan delas in i tre delområden med fokus på tryck enligt nedan.



Figur 3 Graf över variationerna i tid och tryck under en formsprutningsprocess.

1 – 2: Insprutning

Den kalla formen fylls med varm smälta. På grund av temperaturskillnaden är det viktigt att insprutningen sker inom ett relativt kort tidsintervall för att undvika ofullständig fyllning. Flödes hastigheten spelar även roll då det är viktigt att smältan når jämnt ut i formen och inte skapar sammanflytningslinjer i kritiska områden, exempelvis tunna sektioner eller skarpa hörn, som försvagar konstruktionen. Detta delsteg varierar beroende på formens utformning med avseende på fyllkanaler och komplexitet hos detaljen. Insprutningen påverkar den slutgiltiga produktens ytkvalitet, mekaniska egenskaper, sammanflytningar och skevhet.

2 – 3: Kompression

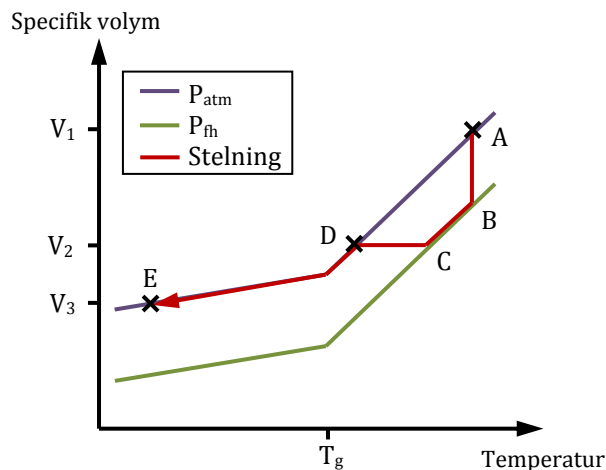
En kraftig tryckökning sker då formen är näst intill fylld. Med ett förhöjt tryck kan ca 7-8 % mer material rymmas i verktyget (Edshammar, 2004, s.48). Beroende på detaljens storlek varierar trycket, det kan sträcka sig mellan 14 – 200 MPa. Egenskaper som avbildning, gradbildning och vikt avgörs under kompressionen.

3 – 5: Eftertryck

Trycket hålls kvar på en hög nivå för att formen ytterligare skall kunna fyllas ut och på så sätt förhindra den termiska kontraktionen. Förseglingspunkten uppnås vid punkt 4 vilket innebär att inloppets tvärsnitt är helt stelnat. En fortsatt avsvälning pågår tills detaljen stöts ut. Detaljens mått noggrannhet, krympning samt sammanflytningarnas hållfasthet är faktorer som påverkas av eftertryckstiden (Edshammar, 2004, s.48).

pvT-diagram

För att få en ännu klarare bild över vad en plast utsätts för, vid formsprutning, kan ett pvT-diagram (pressure-volume-temperature) användas. En schematisk bild för hur den specifika volymen hos plasten förändras med avseende på tryck och temperatur visas i figur 4. Den övre linjen representerar atmosfärstryck, P_{atm} , och den undre linjen det förhöjda trycket, P_{fh} . Längs den röda linjen sker plastsmältans stelning,



Figur 4 Förändring av den specifika volymen med avseende på temperatur och tryck.

A–B Verktyget är fyllt i punkten A. Under konstant temperatur höjs trycket till punkten B och extra material fylls på och höjer densiteten, det vill säga sänker den specifika volymen. B–C Under konstant tryck sänks temperaturen och vid punkt C har inloppet stelnat och inget mer material kan fyllas på.

C–D Föremålet kyls ned samtidigt som trycket minskar tillbaka till atmosfärstrycket.
D–E Fortsatt kylning under konstanttryck och till sist sker utstötning av färdig detalj vid punkt E.

En termoplast som polystyren har en krympning på ca 7 % medan LDPE minskar volymen med ca 18 % då polymeren går från smälta till solid. Det är denna termiska krympning som uppstår mellan V_1 till V_3 (se figur 4) som måste kompenseras annars uppstår insjunkningar, porer och skeva detaljer. Processen börjar och slutar vid atmosfärstryck. Med hjälp av eftertryck och extrafyllnad av material kan volymskillnaden minskas till mellan V_2 och V_3 istället för V_1 och V_3 vilket hade varit fallet om detaljen skulle ha svalnat fritt (Edshammar, 2004, s.47 & Klason, Kubát, 2002, s.235).

En formsprutningsprocess kräver alltså en avvägning mellan godstjocklek, kyltid, cykeltid och dess geometri. Större godstjocklek ger längre kyltid och ökar därmed cykeltiden. Vid mer komplexa geometrier blir kravet på precision större och detta ökar kravet på eftertryck för att minska effekterna av termisk kontraktion.

3.3 Polymera material

Polymerer används ofta synonymt med plaster. En mer korrekt definition av plaster är dock att de utgörs av en sammansättning av polymerer och tillsatsämnen. Smörjmedel, färgämnen och mjukningsmedel är exempel på sådana tillsatsämnen vilka har som syfte att förbättra plastens egenskaper (Turng, Goodman, 2008).

Det finns tre huvudgrupper av plaster: termoplaster, hårdplaster och gummin. Dominerande inom formsprutningsindustrin är termoplaster. De är i sin tur uppdelade i amorfa och semikristallina plaster. Skillnaden mellan dessa två termoplaster är att en semikristallin polymer består av delvis symmetriskt uppbyggda kedjor medan i en amorf molekylstruktur är kedjorna slumpvis formade (Klason, Kubát, 2002, s.16). De amorfa plasterna är normalt styva vid rumstemperatur och bildar därför inte en ordnad struktur, detta medför att de blir transparenta. I tabell 1 listas de vanligaste plasterna som används vid formsprutning och vilka temperaturkrav de ställer på både formverktyget och smältprocessen.

Tabell 1 Formsprutningstemperaturer. (Data från Dakumar, 2007)

Plast (A)	Verktygets temperatur [°C]	Värmebandens temperatur [°C]	Plast (S)	Verktygets temperatur [°C]	Värmebandens temperatur [°C]
PS	10 – 70	200 – 260	LDPE	20 – 60	220 – 300
ABS	10 – 80	190 – 260	HDPE	20 – 60	220 – 300
SAN	10 – 80	200 – 250	PA6	50 – 80	210 – 230
PC	70 – 115	280 – 340	PA66	50 – 80	250 – 280
PMMA	30 – 70	190 – 220	POM	60 – 90	175 – 210
CA	30 – 75	150 – 180	PP	10 – 80	220 – 290
CAB	30 – 75	140 – 150			(A) Amorf
PVC	20 – 60	140 – 200			(S) Semikristallin

3.3.1 Egenskaper och tillsatser

Om en plast inte presterar enligt önskemål kan plasternas egenskaper förbättras genom olika typer av tillsatser. Som tidigare har nämnts kan plastens krympning modereras genom att reglera formsprutningsprocessen bland annat med eftertryckstid. Krympningen kan även minskas genom tillsats av fyllmedel. Det används vanligen till att dryga ut material och på grund av dess låga termiska utvidgningskoefficient bidrar det även till mindre krymp vid stelning (Edshammar, 2004, s.49). Vid formsprutning används höga temperaturer och för att skydda plasten mot termisk nedbrytning vid uppvärmningen används stabilisatorer. En kritisk del i hur väl formverktyget fylls vid insprutning av plast är plastens förmåga att flyta i formen. Tillägg av smörjmedel minskar friktionen mellan plast och verktyg och på så sätt underlättas fyllningen av verktyget.

För att förbättra plastens mekaniska egenskaper armeras den ofta med fibermaterial. Vid formsprutning blandas solitt plastgranulat och korta fibrer i matartratten och sammansmälts sedan vid uppvärmningen i cylindern. Armerade plaster ger dock mer nötning mot verktygsytan och sliter ut den fortare. Mjukgörare är ett effektivt sätt att sänka glasomvandlingstemperaturen (T_g) och en lägre plasttemperatur är fördelaktigt för ett formverktyg i till exempel magnesium, ty dess smälttemperatur är låg vilket ger låg värmebeständighet (Klason, Kubát, 2002, s.21).

3.3.2 Krympning

I det ideala fallet är kopplingen mellan volymetrisk krympning och linjär krympning (se figur 5) en skala på 3:1, det vill säga den linjära krympningen som för polystyren är ca 0,2 % (se tabell 2) vilket ger en volymetrisk krympning på ca 0,6 %. När en verktygsmakare tillverkar ett verktyg för formsprutningsändamål måste denne ta hänsyn till plastens linjära krympning. Önskas en platta i dimensionen 100 x 100 mm måste formen utformas med dimensionerna 100,2 x 100,2 mm för exempelvis polystyren (Plastics Technology, 2012).

Tabell 2 Linjärkrympning. (Data från Klason, Kubát, 2002, s.312)

Plast (A)	Linjär krympning [%]	Plast (S)	Linjär krympning [%]
PS	0,2 – 0,6	LDPE	1,5 – 5,0
ABS	0,4 – 0,9	HDPE	2,0 – 5,0
SAN	0,5 – 0,7	PA6	0,6 – 1,4
PC	0,5 – 0,7	PA66	0,8 – 1,5
PMMA	0,2 – 0,8	POM	2,0 – 2,5
CA	0,3 – 1,0	PP	1,0 – 2,5
CAB	0,3 – 0,9		(A) Amorf
PVC	0,1 – 0,5		(S) Semikristallin

$$\text{Volymetrisk krympning} = \frac{V_1 - V_2}{V_2}$$

$$\text{Linjär krympning} = \frac{\Delta l}{l}$$

Figur 5 Formkrympning.

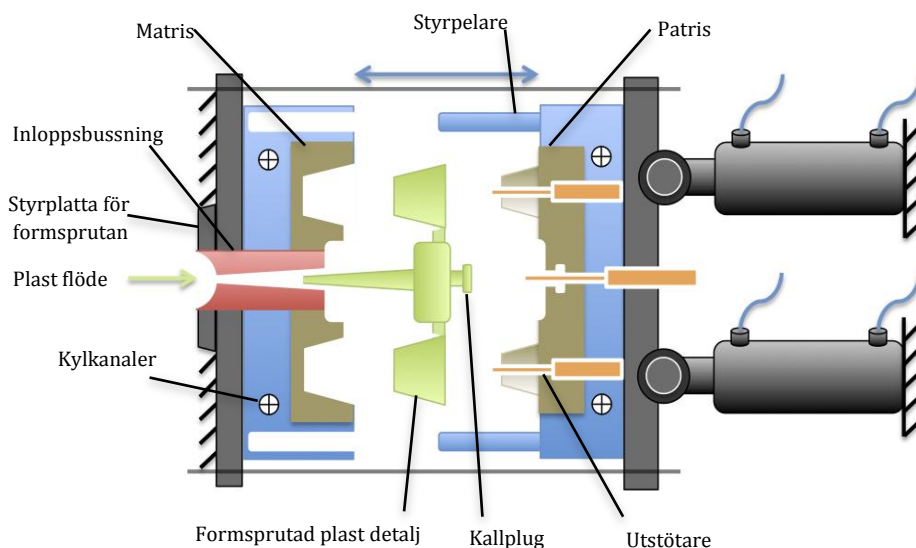
Semikristallina plaster har ofta en högre krympning än amorfa plaster (Klason, Kubát, 2002, s.304). Det beror på att den mer tätpackade kristallstrukturen som finns hos semikristallina plaster kräver mindre volym än för amorfa.

3.4 Formen och dess delar

Verktygets utformning är av central betydelse när det gäller att få tillräckligt god kvalitet hos den färdiga plastprodukten. Verktöget skall distribuera smältan genom verktöget, forma plasten till önskad detalj, kyla produkten och sedan stöta ut den formade detaljen. Forminsatsen är den del i verktöget som formar själva produkten. Den består av två delar, en matris och patris även kallat dyna och stämpel. Patrisen är den del där utstötarna är infästa. (Plastforum, 15-02-2012).

Det svåra med formsprutningsverktöget är att styra temperaturflödena genom verktöget, det vill säga utformningen av kylkanaler, plastflödena etcetera. De flesta komponenter i verktöget finns att köpa som standardprodukter, till exempel bussningar, utstötarpaket eller styrelare, (se figur 6). Ett formverktöget ställer också höga krav på linjäritet och parallellitet då det skall kunna öppnas och stängas i cykler om miljoner med bra kvalitet.

Inloppskanalen går genom inloppsbusningen och är den första sträckan smältan färdas in genom verktöget. Inloppsbusningen sluter tätt mellan formsprutan och verktöget. Inloppskanalen är utformad med släpp så att den stelade smältan följer med i kallpluggens rörelse. Kallpluggens funktion är att säkerställa att den formsprutade detaljen följer med patrisen vid öppning av verktöget och sedan kan detaljen lossas med hjälp av utstötarna. Den invändiga ytan i inloppsbusningen är polerad och skall hållas så kort som möjligt för att minska materialåtgång och cykeltid. Efter inloppskanalen leder fördelningskanaler ut smältan till en eller flera kaviteter där detaljen formas. Utformningen av fördelningskanalerna är mycket viktig för att få lika och jämt gjutna detaljer. Värmeförlusterna minskas genom att fördelningskanalerna formas med maximalt tvärsnitt och med minimal omkrets, det vill säga ett cylindriskt tvärsnitt. Oftast görs dock fördelningskanalerna med ett tvärsnitt som en avrundad trapetsoid för att slippa fräsa en halvcirkel i båda formhalvorna, vilket blir dyrt. Vanligtvis har alla delar som gjuts och inte innefattar själva detaljen minst en släppvinkel på 3-5°. Tvärsnittet hos fördelningskanalerna har ofta en yta som motsvara detaljens godstjocklek, dock är så små kanaler som möjligt önskvärt eftersom den ökade friktionen höjer temperaturen hos smältan. De vanligaste fördelningskanalerna som används är isolerade fördelningskanaler eller värmekanaler. Den mest använda metoden är isolerad kanal för att bibehålla låg viskositet hos smältan. Värmd fördelningskanal, vilken innebär att kanalerna värms elektriskt, används mer sällan. Den metoden är svårare att kontrollera. Det är önskvärt att kontrollera kylningen så bra som möjligt för att kunna korta ner cykeltiden och att då försöka styra ett extra värmefflöde genom verktöget kan vara svårt. (Unger, Peter, 2006).



Figur 6 Principskiss över ett formsprutningsverktyg och dess delar.

Är detaljerna utlagda på olika avstånd från ingjutet eller inloppskanalen är det möjligt att styra flödet genom formen, så att alla detaljer blir homogena, med hjälp av tvärsnittet hos fördelningskanalerna eller intagen till kaviteterna.

Tvärsnittet på intaget till formrummet skall vara så litet som möjligt, en tumregel är att diametern är halva detaljens vägg tjocklek. Tvärsnittet får inte överskrida fördelningskanalernas tvärsnitt, och minsta möjliga diameter burkar vara kring 0,75 mm. Ett mindre tvärsnitt ger mer friktion därmed högre temperatur i smältan, vilket gör den mer lättflytande. Ett smalt intag ger även snabbare frysning vilket hindrar plasten att dra sig tillbaka ut ur formrummet.

Intagets placering i förhållande till formen är mycket viktigt. Det blir en synlig rest, därför placeras intaget på en dold yta. Placeringen påverkar även sammanflytningslinjer, också kallade vållinjer, hos detaljen beroende på hur intaget är designat. En sammanflytningslinje kan dels ge en synlig defekt och dels försvaga detaljen avsevärt.

Vid placering av intaget måste hänsyn till insjunkningar i detaljen även tas. Insjunkningar kan undvikas om intaget placeras där detaljen är som tjockast. Detta minskar även risken för ofullständig fyllning. För att undvika att en så kallad fristråle uppkommer i formrummet åstadkommes turbulens genom att placera intaget nära en motstående vägg. Fristråle innebär att plasten har en lång korridor framför sig från intaget. Då uppstår en laminär ström som kan bilda porer i den färdiga detaljen. Turbulens skapar en molekylorientering som ger en bättre hållfasthet.

Underskärningar hos en detalj är oftast inte ett problem då kärnor används, vilka kan röra sig åt andra håll än i horisontalled, till exempel vid gängor kan kärnan skruvas ut. Ett problem kan dock vara komprimerad luft i formrummet. Detta kan leda till överhettning och förkolning av plasten, så kallad dieseleffekt. För att undvika dieseleffekten läggs avluftningskanaler in runt om i formen. Avluftningskanalen måste vara så liten att plastsmältan inte tränger in och bildar ett skägg mellan patris och matris.

För att kontrollera temperaturen och för att korta ner cykeltiderna läggs kylkanaler in i verktyget. De placeras nära formkaviteterna så att väggtemperaturen kan kontrolleras. Som kylmedel används ofta vatten men är temperaturen högre än 100°C används olja. Vid formsprutning av gummi och hårdplaster värms formen upp istället för att kylas ned. Hög väggtemperatur i

verktyget ger bra ytkvalitet och minskar mängden porer, samtidigt som det också ökar risken för skäggbildning och sjunkningar.

3.5 Verktygsmaterial

Formsprutningsprocessen utsätter verktyget för extremt höga belastningar. Kraven på slutprodukten i termer av geometrikrav och repeterbarhet, det vill säga hur många cykler ett verktyg klarar av med god kvalitet, ställer krav på materialet som används i verktyget. Formsprutning är en kostsam tillverkningsmetod då den kräver en stor kapitalbindning. En stor initial investering för ett verktyg ställer höga krav på tillverkningen, beträffande allt från maskintid till hållbarhet i produktionen. Vanligtvis används olika stållegeringar för verktyget. Stål har till exempel bra hållfasthet och nötningssegenskaper, vilket efterfrågas vid formsprutning. Stål är dock svårbehandlat vid jämförelse med andra material som kan vara aktuella. Önskad hög kvalitet och repeterbarhet gör att verktygen blir dyra, och förändringsprocessen i ett projekt trög. Ett bra stålverktyg kan användas för 1 till 2 miljoner formsprutningscykler innan det måste bytas eller rustas upp.

Andra material än stål kan användas till verktyg för formsprutning. Oftast är det inte lika stora kvantiteter som efterfrågas men produkten kan vara mer komplex. Det höga trycket som verktygen utsätts för under produktion kräver oftast en stålram som en gjutkavitet monteras i. Gjutkaviteten kan vara gjord av något annat material, till exempel har aluminium och beryllium-koppar använts (Menges, Michaeli, Mohren, 2001, k.1, s.13). Oftast beror materialvalet på svårigheten att utforma den önskade geometrin, som gör att materialet i verktyget byts ut. Tillverkningskostnaden blir lägre vid bättre bearbetbarhet, men seriestorleken blir också mindre på grund av till exempel sämre nötningssegenskaper. Det är få material som kan konkurrera med stål i hållfasthet i en konventionell formsprutningsprocess, vilket gör materialmarknaden för formsprutning konservativ.

3.5.1 Stål

Stål används vanligast som verktygsmaterial. Bearbetningen av materialet är känd för såväl skärande bearbetning, gnistning som etsning. Gnistning är en avverkningsmetod som med hjälp av elektriska urladdningar formar en kavitet med hjälp av en modell gjord av grafit. Vid skärande bearbetning, vilket kan ta lång tid i förhållande till bearbetning av andra material, krävs i de flesta fall även efterslipning och polering av ytan. Detta är oftast en dyr och långsam process då det vanligtvis görs förhand. Andra fördelar med stålverktyg är dess värmeledningsförmåga det vill säga dess termiska konduktivitet. Hög specifik värmekapacitet är önskvärt i en formsprutningsprocess för att korta ner cykeltiderna och få bättre kvalitet av den färdiga detaljen. Värmekapaciteten för stål är dock lägre än för till exempel magnesium och aluminium. Fördelen med stål är att det finns många sätt att både ytbehandla formen men även härda stålet så att det klarar större påfrestningar och blir beständigare mot korrosion. Vid formsprutning av vissa polymerer utsätts verktyget för en kemisk attack av till exempel saltsyra (Menges, Michaeli, Mohren, 2001, k.1, s.6). Vissa plaster släpper ifrån sig syror vid uppvärmning. Om verktyget inte är skyddat mot ett sådant angrepp försämras verktygets livslängd avsevärt. För att klara en sådan attack ytbehandlas stålet med till exempel nickel eller krom. Ett vanligt förekommande problem är dock att en sådan hård och spröd yta lätt skalas av vid upprepade användning eller om geometrierna är för komplexa. Vid mer komplexa geometrier används ofta martensitiska stål istället. Materialet får enkelt de önskade egenskaperna såsom hårdhet genom en snabb värmebehandling. Martensitiska stål lämpar sig mer

för mindre kaviteter med till exempel olika tvärsnitt. Problemet med denna typ av stål är att det är svårare att bearbeta.

Ungefär 80 % av alla formsprutningsformer i stål sätthärdas. (Smith, Edward H, 1998, k:7.3). Sätthärdningen ger en hård yta genom austenitisering samtidigt som verktyget erhåller en mjuk och seg insida. Den seiga insidan är mycket tålig mot den växlande lasten som formen utsätts för och det hårda skalet är mycket slittåligt. Den här metoden är även relativt billig, vilket också bidrar till att den ofta används. Austenitiserat stål har också bra poleringsegenskaper. Nitrerstål är ett annat användbart material för formsprutningsverktyg och används frekvent. Nitrerstål får goda slitage- och hårdhetsegenskaper genom nitrering tillsammans med till exempel molybden, krom eller aluminium i legeringen. (Menges, Michaeli, Mohren, 2001, k.1, s.7).

3.5.2 Kopparlegeringar

Kopparlegeringar är bra att utnyttja för sina goda egenskaper vad gäller termisk konduktivitet och duktilitet. Koppar används ofta som hjälpkomponenter i till exempel inloppskanaler eller munstycken, förutom legeringen koppar-beryllium-kobolt som kan användas till själva formkaviteten. Ökas mängden beryllium förbättrar legeringens mekaniska egenskaper. Materialet kan nå en ythårdhet av 440 Brinell (HB). För att kunna använda ett material till en kavitet för en formsprutningsprocess är oftast 330 HB tillräckligt. För att uppnå ännu hårdare yta kan den nickel- eller krompläteras vilket också ger ett bättre korrosionsskydd. (Menges, Michaeli, Mohren, 2001, k.1, s.12-14).

3.5.3 Aluminium

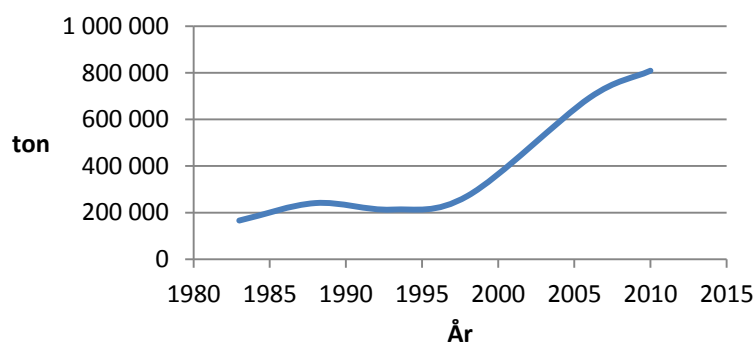
Aluminium används som verktygsmaterial mer sällan än stål. Materialet har låg densitet och är enkelt och billigt att bearbeta, och har hög termisk konduktivitet. Aluminium har även goda oxideringsegenskaper vilket ger verktyget lång livslängd ur korrosionssynpunkt (Menges, Michaeli, Mohren, 2001, k.1, s.16-18). Det är möjligt att krom- eller nickelplatera aluminium. Anodisering ger också bättre korrosionsegenskaper. Stål är ca 30 % starkare än aluminium vilket gör att aluminiumformarna måste vara tjockare. Vanligtvis görs godset ca 40 % tjockare i verktyget men ändå väger det ca 50 % mindre. Att formen väger mindre ger fördelar som snabbare ställtid i produktion och lättare hantering. Skärande bearbetning av aluminium går ungefär fem gånger snabbare än det gör för stål. Gnistning är även en möjlig bearbetningsteknik. Aluminiumverktyg har en livslängd på en tiondel jämfört med stål, baserat på antal cykler. En kombination av stål och aluminium har även använts med goda resultat. Stål används där verktyget utsätts för hårda tryck och nötning, medan aluminiumet drar ner både tyngd och tillverkningskostnad.

4. Magnesium och bearbetning

4.1 Magnesium som verktygsmaterial

En av de största fördelarna med magnesium som konstruktionsmetall är dess låga densitet, 1,8 g/cm³. Detta är en densitet som ligger väl under till exempel aluminiums 2,7 g/cm³. Magnesiums låga densitet gör den till den lättaste av konstruktionsmetallerna (Busk, 2002, s.259). Magnesium har även fördelar vad gäller skärande bearbetning, gjutning och pressning etcetera gentemot andra material. Legeringar av metallen används inom flera olika industrier där vikten ofta har en avgörande roll på slutprodukten, men denna egenskap är oviktig för formsprutningsprocessen. Rent magnesium används ofta för att legera andra ämnen. Detta utgör en stor del av årsproduktionen.

Världshaven innehåller cirka 0,13 % magnesium vilket gör att tillgången är i det närmaste oändlig (Polmear, 1994, s.1). Förutom just havsvatten används även till exempel dolomit, magnesit och karnalit vid magnesiumframställning. De konventionella metoderna att framställa magnesium är antingen genom reduktion i en elektrolys med MgCl₂ eller att magnesit löses upp i saltsyra, där den anrikade magnesiumkloriden torkas i vätekloridgas. Årligen produceras runt 800 000 ton magnesium (International Magnesium Association, 2012). Figur 7 nedan visar hur produktionen av magnesium utvecklats de senaste 30 åren. Av detta användes år 2002 största delen till gjutning av magnesium samt magnesium som legeringsämne i aluminium.



Figur 7 Mängd producerat magnesium mellan 1983-2010. (Data från International Magnesium Association, 2012)

4.1.1 Användning

På grund av den låga hållfastheten hos magnesium legeras den nästan uteslutande om den skall användas som konstruktionsmaterial. Dessa legeringar behåller dock magnesiums goda vikttegenskaper varför vanliga produkter är handburna sådana, som kåpor till motorsågar, pilbågar, kåpor till kameror och andra liknande produkter (Busk, 2002, s.261). Den kanske mest vardagliga användningen av magnesium är som offeranod i varmvattenberedare. Metallen används även inom fordonsindustrin där den goda gjutbarheten gör att många lite större komplexa geometrier, exempelvis dörrpaneler och höljen till växellådor görs i just magnesiumlegeringar. Metallen används även inom flyg- och rymdindustrin för dess vikttegenskaper.

4.1.2 Framställning

Magnesiumprofiler kan framställas på flera olika sätt, exempelvis gjutning, valsning, smide och extrudering. En relativt ny framställningsmetod är tixogjutning, (eng. Thixomolding). Tixogjutning har stora likheter med formsprutning eftersom metallen i form av granuler förs in i en uppvärmningscylinder som smälter ner dessa tills metallen befinner sig i tvåfastillstånd, varefter den trycks in i gjutformen. Vid konventionell gjutning används både pressgjutning och gjutning i sandform eller permanentform (Busk, 2002, s.261). Vilken framställningsmetod som används beror på vad som skall tillverkas och vilka krav som ställs på korrosion och andra egenskaper hos slutmetallen. Magnesium är svårt att kallbearbeta på grund av dess låga duktilitet och därför ovanlig som plåt.

4.1.3 Legeringar och dess egenskaper

Magnesiumlegeringar kan delas upp i två huvudkategorier, legeringar med aluminium (Al) och legeringar med zirkonium (Zr). Dessa ämnen går inte att blanda i samma legeringar då zirkonium binder till aluminiumet istället för magnesium och effekterna av de båda kancelleras, ämnena oförmåga att fungera tillsammans leder till en naturlig uppdelning. (Polmear, 1994, s.2).

Gjutna legeringar

Det finns flest varianter av Mg-Al legeringar och det är även de som är mest frekvent använda inom industrin. Upp till 12,7 wt.% Al kan lösas i magnesium vid 437°C men endast 2 % vid rumstemperatur. Detta leder till ett behov av värmebehandlingar. Dessa har dock inte lika stor effekt som för till exempel stållegeringar och ofta används legeringarna direkt efter gjutning eller efter anlöpning (Polmear, 2006, s.261). Gjutna Mg-Al legeringar har ett användningsområde i temperaturer upp till 110-120°C. Därefter blir krypning ett stort problem på grund av magnesiums kristallstruktur. Ett sätt som har prövats för att motverka detta är att minska halten av aluminium och istället legera in silikon som binder med magnesiumet och skapar utfällningar i korngränserna som hjälper till att förhindra att korngränser glider (Polmear, 1994, s.5).

Då aluminium ger legeringen goda korrosionsegenskaper och medför en mer fördelaktig gjutprocess har detta legeringsämne länge varit vanligt inom industrin. Problemet som ofta uppstår är att hitta en legering med bra egenskaper vid högre temperaturer. Försök har gjorts att blanda in sällsynta jordartsmetaller (RE) men då har problem med lösningsgraden uppstått (Polmear, 2006, s.260-261). Viss mängd går dock att blanda in. Övriga vanliga legeringar i Mg-Al-systemet är zink (Zn) och mangan (Mn). Mangan används framförallt för att förbättra korrosionen genom att binda upp eventuella ädlare metaller i smältan (Eliezer, Alves, 2002, s.279).

Den andra huvudkategorin av magnesiumlegeringar är legering med zirkonium. Vanliga legeringar har ofta tagits fram för att ha högt motstånd mot krypning vid högre temperaturer, här har rymd och flygplansindustrin varit en pådrivande intressent. De positiva effekterna vid högre temperaturer som de sällsynta jordartsmetallerna ger förstärks ytterligare med den minskning av kornstorlek som inlösning av zirkonium ger (Busk, 2002, s.261). Det är också i förfiningen av kornstorlek som zirkonium har sin största fördel som legeringsämne. Det gör dessa legeringar till påfallande intressanta från högttemperatursynpunkt. Det är oklart i vilken utsträckning som dessa legeringar har använts inom industrin men det finns exempel på växellådshus för helikoptrar som gjorts av denna typ av legering. Det finns också exempel på legeringar där zirkonium, zink och RE kombineras för att få fram hydrerade legeringar, dessa är dock väldigt komplexa i framställning samtidigt som de ger unika användningsområden.

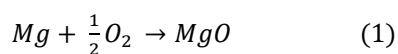
Ännu ett legeringsämne är silver (Ag) vilket har visat sig kunna generera goda mekaniska egenskaper vid temperaturer upp till 250°C. Dock gör Ag att legeringen blir dyr. Försök har gjorts att byta ut Ag mot koppar (Cu) men den låga lösningsgraden av koppar vid den eutektiska punkten gör att resultatet inte blivit fullt lika lyckat (Polmear, 2006, s.279-280). Att legera in yttrium (Y) i Mg-Zr-systemet har även det visat sig ge goda högttemperaturegenskaper då smältpunkten för yttrium är hög (1500°C) och det har hög löslighet i magnesium (12,5 wt%). Dock har just yttrioms höga smältpunkt och kostnad gjort att legeringen inte fått stort kommersiellt genomslag. Det är istället med inblandning av neodym som en bra avvägning mellan hårdhet, smidighet och pris, dock är det för dyrare applikationer som motorer inom motorsport och i flygplansindustrin som denna typ av legeringar används (Polmear, 2006, s.280-281).

Smidda magnesiumlegeringar

Generellt har den största delen av ämnen som tillverkas av magnesium varit gjutna men på senare år har allt mer smidda legeringar tagits fram. Smitt magnesium står dock fortfarande bara för 1 % av tillämpningen (Polmear, 2006, s.282). Den vanligaste smidda legeringen har varit och är än idag AZ31 (3 % aluminium 1 % zink). Denna har goda egenskaper vid temperaturer något över rumstemperatur och är enkel att svetsa, vilket gett den dess stora utbredning (Polmear, 1994, s.9). Genom att byta ut karossdelar inom bilindustrin kan 50 % i vikt sparas gentemot stål och 15 % mot aluminium. På grund av magnesiums kristallstruktur är det ofta varmbearbetning som är aktuell vid framställandet av plåtarna. Kallbearbetning minskar möjligheterna till fina radier och dylikt. Normalt varmbearbetas materialet istället vid 230-350°C. Extrudering av magnesium är även möjlig men normalt ligger hastigheten fem till tio gånger under den för aluminium (Polmear, 2006, s.283). Vid smidda legeringar precis som vid gjutna görs en avdelning mellan legeringar som innehåller zirkonium och aluminium.

4.1.4 Korrosion

En stor del av arbetet med att ta fram nya legeringar har haft som syfte att öka korrosionsbeständigheten då denna i vissa miljöer varit mycket dålig. Det är också ur denna aspekt som Al ofta används som legeringsämne. Magnesium som metall har dock goda korrosionsegenskaper i vanlig luft då en skyddande oxidfilm bildas vilket gör att korrosionen avtar exponentiellt. Magnesium reagerar lätt med syre och bildar magnesiummonoxid (MgO) enligt:



Men i fuktiga och salta förhållanden avtar inte korrosionen utan fortsätter linjärt och oxiden omvandlas till att bilda andra föreningar med bland annat CO₂ vilket ger en mindre stabil oxidfilm (Eliezer, Alves, 2002, s.268). MgO är dock inte stabil i temperaturer över 350°C.

Den historiskt vanligaste anledningen till magnesiums dåliga korrosionsegenskaper har varit mikrogalvanisk korrosion. Detta till följd av låg renhet i legeringen med mycket av orenheterna i form av ädlare metaller. Numera är legeringarna mer högre och renheten betecknas ofta i legeringsnamnet men olika standarder för detta finns. I till exempel den smidda legeringen AZ31 varierar mängden nickel från 0,005 % till 0,03 % mellan AZ31B och AZ31C (Housh, Mikucki, Stevenson, 1990, s.480-516). Legeringar med Al ger goda korrosionsegenskaper. Med över 4 % Al i legeringen fås en anrikning av Al i oxidfilmen med 35 % aluminiumoxid i ytfilmen. För legeringar med mindre än 4 % når oxidfilmen aldrig 35 % aluminiumoxid (Eliezer, Alves, 2002, s.269).

Galvanisk korrosion vid kontakt med en ädlare metall och en elektrolyt sker lätt då magnesium har en låg elektronegativitet. Det är därför viktigt att skydda metallerna genom att förhindra att sådana kontaktytor skapas. Om det inte är möjligt att använda metaller med likartad elektronegativitet (Al-legeringar fungerar ofta väl) bör antingen en ytbehandling av ämnet göras alternativt en packning tillsättas i gränsskiktet.

4.1.5 Mekaniska egenskaper hos magnesium

Av största vikt för att kunna avgöra magnesiums lämplighet som konstruktionsmaterial är vilka mekaniska egenskaper metallen och dess olika legeringar besitter. De krav som formsprutningsprocessen ställer på verktyget och den hållfasthet som erhålls för olika material varierar självklart inom materialet med olika geometriformer. Avsikten är att se om möjligheterna finns generellt med avseende på de mekaniska egenskaperna, sedan får varje verktyg utvärderas efter hur geometrin är utformad.

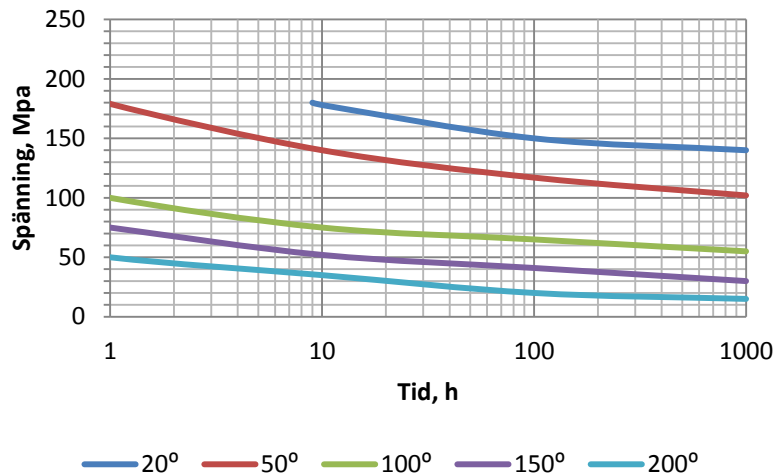
Magnesium

Magnesium är en mjuk och spröd metall i sitt grundtillstånd vilket gör att den inte används som konstruktionsmetall olegerad. Tabell 3 visar olika mekaniska egenskaper för magnesium. Framställt på olika sätt Intressant att se är att gjuten Mg har både lägst sträckgräns och hårdhet, ändå är detta den vanligaste framställningsmetoden för legerat magnesium.

Tabell 3 Magnesium egenskaper. (Data från ASM Handbooks, Properties of Pure Metals,1990)

Form och egenskap	Draghållfasthet, [MPa]	0,2% Sträckgräns, [MPa]	0,2% Tryck hållfasthet, [MPa]	Töjning på 50 mm (2 in.), [%]	Ythårdhet	
					HRE	HB(a)
Sand gjuten, 13 mm (1/2n.) diam	90	21	21	2-6	16	30
Extruderad, 13 mm (1/2n.) diam	165-205	69-105	34-55	5-8	26	35
Valsad plåt	180-220	115-140	105-115	2-10	48-54	45-47
Anlöpplåt	160-195	90-105	69-83	3-15	37-39	40-41

Magnesium har en mycket låg smälttemperatur (649 °C) vilket gör att de mekaniska egenskaperna avtar vid temperaturer över 100°C (Polmear, 1994, s.5). Figur 8 visar hur kryphållfastheten ändras med temperaturen och tiden, ett tydligt exempel på de problem som uppstår med magnesium vid högre temperaturer. Detta tillsammans med den låga hållfastheten är en av de största anledningarna till att magnesium legeras för att användas som konstruktionsmaterial.



Figur 8 Spänning vid krypbrott för rent magnesium som funktion av tid och temperatur.
(Data från ASM Handbooks, Properties of Pure Metals, 1990)

Magnesiumlegeringar

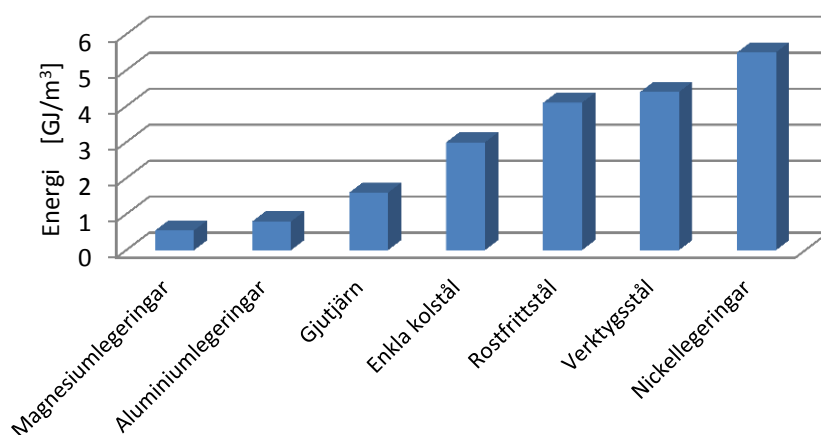
Olika ämnen legeras med magnesium för att uppnå olika egenskaper, till exempel RE för minskad krypning vid högre temperaturer och aluminium för bättre hållfasthet och korrosionsskydd. I bilaga 3 beskrivs de mekaniska egenskaperna hos de vanligaste legeringarna. Där visas att sträckgränsen för de olika legeringarna ligger mellan 55 MPa och 340 MPa. Draghållfastheten och hårdheten ökar generellt för legerade material. Hårdheten kommer upp i värden runt 80 HB vilket ändå är lågt för ett formsprutningsverktyg.

Även för legeringarna försämras de mekaniska egenskaperna vid högre temperaturer. Vissa av legeringarna är dock framtagna just för att ha bättre högttemperaturegenskaper vilket diskuterats ovan. Med hänsyn till de data som finns för mekaniska egenskaper för de vanligaste legeringarna som används, AZ91 och AZ31, tydliggörs det att legeringarna har avtagande egenskaper vid förhöjd temperatur. AZ91 är den vanligaste gjutna legeringen och där skiljer sig till exempel draghållfastheten från 275 MPa vid rumstemperatur från det mycket lägre 115 MPa vid 200°C (Housh, Mikucki, Stevenson, 1990, s.480-516). För AZ31 uppvisas samma beteende vilket ses i tabell 8.

Som tidigare nämnts har zirkoniumlegerat magnesium bra egenskaper vid högre temperaturer och speciellt då det även legerats in yttrium. En sådan legering är WE54 vilket är en legering som används vid tillämpningar i högre temperaturer. Där håller materialet god hållfasthet vid höga temperaturer och kan även användas vid relativt höga temperaturer utan att krypning förhindrar användningen. Jämfört WE54 med AZ91 som hade en draghållfasthet på 115 MPa vid 200°C har WE54 en draghållfasthet på ca 240 MPa vid samma temperatur (Housh, Mikucki, Stevenson, 1990, s.480-516).

4.2 Bearbetning av metaller

Skärande bearbetning är ett samlingsnamn för all typ av spånbrytande bearbetning. För bearbetning av ett formsprutningsverktyg är det främst fräsning och borrar som är aktuella metoder. Vid jämförelse av hur lättbearbetat ett material är brukar man ange hur mycket energi som går åt för att skära bort en viss volym. I figur 9 jämförs vanligt förekommande metaller.



Figur 9 Medelvärde av energiåtgång vid bearbetning av olika metaller. (Data från Zohdi, Biles, Webster)

Med låg energiåtgång medföljer olika fördelar vid bearbetning, bland annat möjligheten att hålla högre hastigheter och göra djupare hål och på så sätt bearbeta mycket snabbare. Det är fördelaktigt att kunna hålla hög matningshastighet eftersom magnesium har en hög värmeutvidgningskoefficient och om en förflyttning från det bearbetade området sker snabbt kan en lägre temperatur bibehållas och toleranserna blir bättre. En hög matningshastighet är också bra för spånbrytningen eftersom spånorna från magnesium är lättantändliga och effektiv bortförel av spånor från skärområdet kan då ske. Ur bearbetningssynpunkt är små spånor fördelaktiga eftersom de är lätthanterbara men med avseende på brandsäkerhet är stora spånor önskvärt (Machining Magnesium).

Ses till skärdata för magnesium (se tabell 4 och 5) är det möjligt att hålla högre matningshastighet än för konkurrerande material till exempel vid verktygstillverkning. Om tiden identifieras som en kostnadsbärare, maskintid och operatörstid, inses att det går att göra besparingar i tillverkningen. Den sparsamma mängden litteratur om bearbetning i magnesium verkar tyda på att det är en okonventionell metall att arbeta med och en viss inkörningsperiod för att hitta optimal bearbetningsdata kommer troligtvis krävas för verkstaden som planerar att starta upp en tillverkning.

Tabell 4 Skärdata för bearbetning med fräsning. (Data från Zohdi, Biles, Webster, 1998, s.1062).

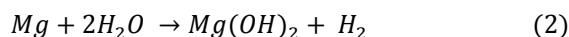
	Grovfräsning [m ² /min]	Finfräsning [m ² /min]
Magnesium	55 – 75	93 – 140
Aluminium	37	65
Gjutjärn	4 – 5	7 – 10
Rostfritt stål	5 – 7	9 – 11

Tabell 5 Skärdata för bearbetning med borrar. (Data från ASM Handbooks: Volume 16 Machining).

	Hastighet [m/min]
Magnesium	46 – 123
Aluminium	107
Gjutjärn	24 – 34
Verktogsstål	15 – 18

4.2.1 Skärvätskor

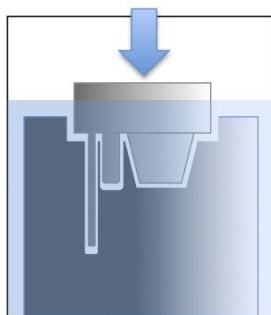
Vid torrbearbetning kan lösegg bildas vilket är kopplat till temperaturen i skärzonen. Materialet svetsas då fast på verktyget och kraften som krävs för att skära ökar då den bearbetade ytan blir råare. Detta vill man undvika och med hjälp av skärvätskor kan resultatet förbättras. Vid valet av skärvätska måste det tas hänsyn till magnesiumets egenskaper eftersom till exempel en vattenbaserad skärvätska kan skapa problem.



Enligt ekvation 2 skapas vätgas vid en reaktion mellan magnesium och vatten. Vid rätt koncentration av vätgas är det tillsammans med luft antändligt. Med rätt typ av skärvätska kan brandrisken minskas, löseggsbildning undvikas och verktygen ges längre livslängd. Utan löseggsbildning fås även en finare yta hos det bearbetade föremålet. En mineralolja eller en låg vätgasproducerande vatten-olja emulsion kan användas som skärvätska. Fördelen med dessa är att höga hastigheter kan hållas, lätt bortförel av spånor samt att brandrisken minskar (Machining Magnesium).

4.2.2 Gnistning

Framställning av verktyg är det dominerande användningsområdet för gnistbearbetning. Metoden är en väl utvecklad teknik för att skapa precisa och invecklade ytor. För material som i vanliga fall är svårbearbetade på grund av hög smältpunkt, sprödhet eller hårdhet är gnistbearbetning ett bra alternativ. Metoden används för att skapa tunna väggar, smala och djupa slitsar och små hål. Gnistbearbetning kan behandla metaller med en smältpunkt upp till 3410°C (ASM Handbooks, Electrical Discharge Machining, Machining Operations).



Figur 10 Principskiss av formning med hjälp av gnistbearbetning.

Principen vid gnistbearbetning är att det skapas ett gnistflöde mellan två elektroder, vilka utgörs av gnistverktyget och arbetsstycket (se figur 10). För att skapa tillräckligt frekventa och kraftfulla gnistor krävs mycket energi. Användning av en dielektrisk (ej strömförande) vätska gör att en upplagring av energi blir möjlig. Gnistverktyget är bearbetat enligt önskad form och när det förs mot arbetsstycket, vilket är nedsänkt i vätskan, skapas gnistor när de är tillräckligt nära varandra. Gnistorna smälter materialet och den omgivande vätskan för både bort den avverkade smältan samt kyler ned det bearbetade området. Proceduren upprepas tills att önskad form är uppnådd (Hågeryd, Björklund, Lenner, 2002, s.349). Beroende på vilken tolerans som eftersträvas regleras avverkningshastigheten. Då lägre krav ställs på ytorna kan en avverkningshastighet på 5 cm³/min hållas och vid finare toleranser (upp till 0,1 µm) minskas denna till ca 0,5 mm³/min.

5. Provning och resultat

Ett delmål inom Kandidatarbetet *Formsprutningsverktyg i magnesium* är att tillverka ett eget verktyg och formspruta en plastdetalj. Målet med detta är att kunna titta på och verifiera möjligheten att formspruta i ett magnesiumverktyg. Genom att praktiskt framställa och prova ett verktyg kommer eventuellt förbisedda brister hos magnesium att upptäckas och kunna diskuteras.

Till förfogande stod en formspruta som disponeras av institutionen för material- och tillverkningsteknik. Det utformades då ett verktyg som skulle gå att använda i denna formspruta. Kraven på verktyget sattes med hjälp av information införskaffad från såväl litteratur som industrin. Efter att magnesium införskaffats och en ritning på den verktygsdel som behövde tillverkas överläts den fysiska tillverkningen och planeringen av denna till Håkan Millqvist, forskningsingenjör vid material- och tillverkningsteknik institutionen. Formsprutningen genomfördes av Antal Boldizar, professor vid material- och tillverkningsteknikinstitutionen, samt Ruth Arino, doktorand på institutionen, med gruppens deltagande och observation. För att sedan utröna vilken effekt valet av material i verktyget gjort studerades de formsprutade detaljerna och verktygets slitage.

Den magnesiumlegering som införskaffats hade skänkts av KG Fridman AB och var AZ31B (se tabell 7), den vanligaste av de smidda legeringarna på marknaden. Enligt KG Fridman AB var dem de enda som lagerhöll smitt magnesium i Norden och endast AZ31B fanns att tillgå. AZ31B har sämre mekaniska egenskaper jämfört med finare magnesiumlegeringar men de är ändå tillräckliga för att kunna ge ett talande resultat. Det var därför naturligt att beräkningar och bedömningar som skulle ligga till grund för utformningen av verktyget baserades på de egenskaper som AZ31B har (se tabell 6 och 8).

Tabell 6 Egenskaper hos AZ31B. (Data från Housh, Mikucki, Stevenson, 1990)

Sträck- gräns [MPa]	Draghåll- fasthet [MPa]	Skjuvgräns [MPa]	Densitet [g/cm ³]	E- modul [MPa]	Duktilitet [%]	Hårdhet [HB]	Smälttemp. [°C]	Värmelednings- förmåga [W/m · K]
200	260	130	1,77	50	15	49	≈ 630	96

Tabell 7 Sammansättning av AZ31. (Data från Polmear, 2006)

	Magnesium	Aluminium	Zink	Mangan	Övriga
Sammansättning [wt%]	≈ 95,0	≈ 3,0	≈ 1,0	≈ 0,3	≈ 0,7

Tabell 8 Mekaniska egenskaper hos AZ31B vid olika temperaturer. (Data från Housh, Mikucki, Stevenson, 1990)

Temperatur [°C]	Draghållfasthet [MPa]	Sträckgräns [MPa]
-80	331	234
-27	310	234
21	290	221
100	207	145
150	152	90
200	103	59
260	76	31
315	41	21
370	28	14

5.1 Plastteknik

Vid ett möte med Jari Kallio, projektledare på Plastteknik, fredagen den 2 mars 2012 diskuterades deras produktion samt hypotesen angående magnesiumverktyg och dess tillverkningsmöjligheter. Plastteknik är ett företag tillhörandes Nolato koncernen som främst sysslar med formsprutning av plaster men har även vissa gummiapplikationer.

Plastteknik har inte verktygstillverkning in-house utan de köper in sina formsprutningsverktyg från Sydkorea och Kina. De kör direkt i stora serier med cykler på ca 1 miljon och majoriteten av verktygen görs i verktygsstål. Dock använder de även andra material som bland annat beryllium-koppar för att höja värmeledningsförmågan kring kritiska delar i verktyget. Jari ifrågasatte om magnesium verkligen kan användas vid prototypstillverkning till ett verktyg som sedan skall göras i stål med tanke på materialens olika värmeledningsförmågor. Värmeledningsförmågan för respektive material är 418 W/m·K för magnesium och 82 W/m·K för stål (ASM Handbooks: Properties of pure metals).

De polymerer som användes till deras produkter varierade men polypropen (PP), polystyren (PS), polyoximetylen (POM) samt termoplastiska elastomerer (TPE) var de mest frekvent förekommande. Det framkom att PP och PS var bra att använda till projektet på grund av deras reologiska egenskaper, det vill säga deras viskösa eller elastiska egenskaper. Även angående toleranser ansåg de att det skulle räcka med att hålla sig inom en tiondels millimeter från originalverktyget samt att hänsyn måste tas till avluftning och skäggbildning.

När de ponerade om framtiden inom formsprutningsbranschen yttrade de sig vagt om magnesium som verktygsmaterial och lyfte istället fram att det senaste som hänt är att flerkomponentsmaskiner används. Det innebär att olika typer av plaster sprutas på samma produkt så att ett föremål kan få flera egenskaper till exempel färg, blankhet och hårdhet.

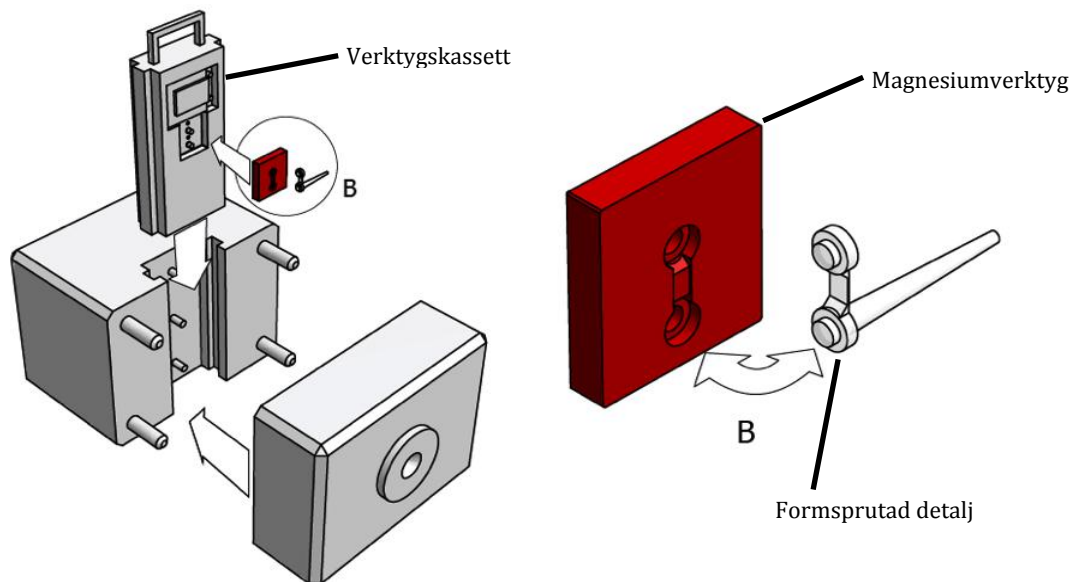
5.2 Utformning och CAD

Det verktyg som används idag på Chalmers har en praktisk funktion, maskinen används för att tillverka provstavar för dragprov av olika plaster. Det verktyget som används är i stort sett permanent monterat i formsprutan, komplett med utstötarpaket och kylkanaler. I detta större verktyg sitter sedan en utbytbar kassett. Det finns flera olika typer av kassetter för olika former hos provstavarna. Det gemensamma för majoriteten av kassettsatserna är att formen hos den färdiga produkten är uteslutande utformad för laborations- eller i forskningssyfte.

För att förenkla testet med ett magnesiumverktyg utnyttjas en kassett som tidigare använts för att forska på vällinjer och inloppskanaler. Kassetten är utformad så att det enkelt går att byta ut den del där inloppskanalen är placerad. Ovanför den utbytbara inloppsdelen finns en rektangulär ram urfräst. Placeringen på inloppet kan styra vällinjens placering, detta var kassetts ursprungliga syfte. Den undre inloppsdelen passar bra att byta ut till magnesium (Se B i figur 11).

Denna utbytbara insats, för att modifiera inloppet, är rektangulär med två utstötare och på baksidan finns två gängade infästningar. Idén är att begränsa formsprutningsarean till insatsen, och inte använda sig av den övre urfrästa ramen. Problemet var att det inte fanns färdiga ritningar att tillgå på något av verktygen, varken insatsen eller kassetten. Företaget FERBE som ligger i Gislaved och som tillverkade verktygen, hade endast större övergripande ritningar tillgängliga vilka inte var till hjälp för projektet. Den insats som finns i stål mättes därför upp med hjälp av ett skjutmått. Detaljen har en tydlig struktur i dimensionerna. Med hjälp av de uppmätta måtten och uppskattad

felmarginal kunde detaljens exakta mått fastställas. Svårare var det dock att mäta upp hålbilden. Efter besöket på Plastteknik var det fastställt att hålen för utstötarna har en H7 tolerans, vilket är på hundradelen av en millimeter. Placeringen av hålen måste därför vara så exakta att en H7 tolerans passar. Denna tolerans är standard då utstötare finns färdiga att montera och behöver endast slipas in för att passa i verktyget. Hålen var till synes helt symmetriskt placerade på detaljen. Ses insatsen bakifrån sitter centrum för alla fyra hålen med jämt avstånd. Utstötarkålen har ett standardmått på 6 mm och de två infästningarna är M4:or. Dock är avstånden till ytterkanten längre än de inbördes avstånden mellan hålcentrum. Insatsen har inte något släpp på yttersidorna vilket var förväntat. Efter överläggningar med tillverkaren skulle verktyget passas in i kassetten med ritningen som hjälp, genom att testa och korrigera vart eftersom. Alla hörn på insatsen i stål, som redan var tillverkad, är gradade utan precision. Tydligt ses att gradningen endast är för att inte orsaka obehag vid hantering av verktyget. Den insats som tillverkats i magnesium har tilltagna grader på alla hörn då det inte påverkar funktionen utan endast hanteras och monteras lättare. Huvudsaken är att passningen i kassetten är bra så att plastisk deformation begränsas till den kalkylerade (se bilaga 1, kravspecifikation).



Figur 11 Montering av alla delar i verktyget.

Utformningen av den detalj som formsprutades (se bilaga 2, ritning) designades utifrån tillverkningsmöjligheterna och senare behov, ett krav på kaviteten var att ett fortsättningsprojekt skulle kunna arbeta vidare med magnesiumverktyget. Ett sådant projekt skulle utvärdera möjligheten att formspruta en Fresnellins. En sådan lins används ofta i större konstruktioner där en vanlig lins skulle kräva mycket plats och material, en Fresnellins är istället platt och därmed ekonomisk fördelaktig. I projektet skulle en Fresnellins graveras på en yta om 5 x 5 mm, och detta för att undersöka toleranser och möjligheten att formspruta små och detaljrika föremål. Att utforma en sådan yta som gör detta möjligt blev då ett önskemål från institutionen. Att undersöka en sådan lins ligger dock utanför ramarna för detta projekt då det krävs mer resurser och tid än vad som finns tillgängligt.

Inloppskanalen är placerad precis i linje med den undre utstötaren. Därför utformades en större inloppskavitet runt och över den undre utstötaren. En likadan utgångskavitet tillverkades även ut kring den övre utstötaren för att underlätta doseringen av plasten. Däremellan fräses en bro ut, med slutande inlopp från inloppskaviteten och en lutning utför in i utgångskaviteten. Detta för att få

en jämt plastflöde genom verktyget (se figur 11). Själva bron får då dimensionerna 5 x 7 x 0,5 mm, tillräckligt med plats att gravera en Fresnellins på. Med tanke på djupet i formen och tillverkningsmöjligheterna gjordes ingen kallplugg, utan alla sidor i formrummet tillverkades utan släpp. Placeringen av kaviteten i patrisen kontra utstötarna borde ge tillräckligt med avluftning för att undgå plastförbränning.

5.3 Kravspecifikation

För att tydligt kunna definiera vilka krav som ställdes på insatsen vid tillverkningen upprättades en kravspecifikation (se bilaga 1). Kravspecifikationen är något rudimentär då tillverkningen redan under upprättandet var utlagd på Håkan Millqvist och gruppen inte hade möjlighet att ha insyn i tillvägagångssättet. Dock tar den upp flera av de viktigaste detaljerna som gavs till tillverkaren. Dessa var framförallt toleranserna vid utstötarna och vilken den tillåtna avikelsen i tjocklek var för att plastisk deformation inte skulle uppstå. Men dokumentet är även användbart då det kräver att gränsvärdena för vilka yttre påfrestningar som verktyget klarar av definieras.

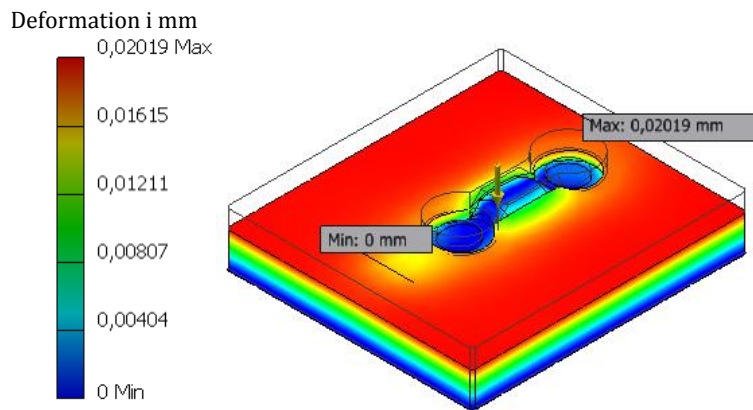
5.4 FEM-analys

En kontroll av om magnesiumverktyget klarar av det tryck som den utsätts för vid en körning har genomförts med hjälp av Inventor 2012:s FEM-verktyg. I figur 12 illustreras de deformationer i millimeter som uppkommer vid en belastning på 250 kN i verktygets stängningsriktning. 250 kN är baserat på den största låsningskraften som formsprutan på Chalmers klarar av. Låsningskraften som krävs för storleken på den projicerade arean av detaljen som formsprutas i låsningsriktningen, är ca 10 % av den maximala låsningskraften, det vill säga denna deformationsberäkning är konservativ, men ger utrymme för ett mer omfattande laborerande med formsprutans parametrar.

I denna FEM-analys har alla väggar inklusive baksidan, dock inte framsidan som är öppen ut mot den andra verktygshalvan, ett helt stelt villkor på sig, det vill säga de kan ej deformera i testet. Det innebär att magnesiumet inte har möjlighet att plasticera i dessa riktningar. I och med dessa villkor blir plasticeringen mindre än den skulle utan dessa fasta villkor. I det verkliga fallet skulle även stålkassetten plana yta ta upp kraft så att både stålkassetten och magnesiuminsatsens deformation blir lika. Detta skulle innebära att deformationen blir nästintill obefintlig då det totala trycket på hela verktyget blir enligt ekv. 3. Trycket på verktyget blir då 5 MPa vilket ger väldigt lite deformation. FEM-beräkningen blir relevant då magnesium insatsen sticker upp över stål kassetten och tar upp all kraft.

$$MPa = \frac{F (N)}{A(mm^2)} = \frac{250000}{200 \cdot 250} = 5 MPa \quad (3)$$

Som analysen visar sker ingen större deformation inåt i hålrummet som skulle kunna påverka kvaliteten hos den färdiga plastdetaljen. Även visas att deformationen är elastisk vid en jämförelse med kravspecifikationen (se bilaga 1). Det skall tilläggas att hänsyn inte har tagits till temperatur eller det tryck som genereras av smältan under en formsprutningscykel.



Figur 12 FEM-analys av hur verktygsinsatsen deformas under en formsprutningscykel.

5.5 Resultat av provning

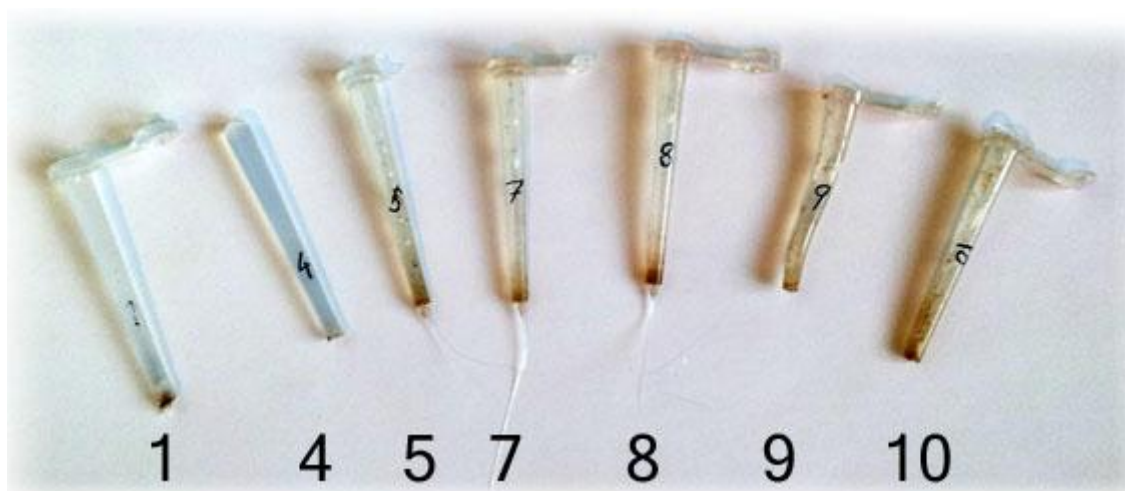
Formsprutningen genomfördes fredagen den 27 april i institutionen för material- och tillverkningstekniks laboratorium. Tidigare nämnd A. Boldizar stod för handhavandet av formsprutan med hjälp av doktoranden Ruth Arino. Den plast som användes vid formsprutningen var polystyren. Det är en amorf plast vilket ger en genomskinlig detalj och det valet gjordes för att kunna studera en framtida formsprutning av en Fresnellins. Insatsen finns att beskåda i figur 13. Totalt gjordes tio formsprutningar för att optimera formsprutningen mot industrimässig framställning av den geometri, 5 x 5 mm plattan, som var den önskade slutprodukten. De parametrar som ställdes in var:

<i>Insprutning</i>	I_t , vilken tid som maskinen har till förfogande att spruta in material i verktyget.
<i>Tryck</i>	E_1 , det tryck som ligger på medan och efter att erforderlig mängd plast sprutats in.
<i>Eftertryckstid</i>	E_t , den tid som ett eftertryck ligger an.
<i>Kyltid</i>	K_t , tiden från eftertryckningen till att formen öppnas.
<i>Volym</i>	V , mängden plast som sprutas in i verktyget.

Vid det första försöket var parameterinställningarna enligt tabell 9. Att 700 bar valdes som tryck är ett direkt resultat av den valda plasten. Det relativt låga trycket är en följd av plastens låga krympning vid stelning. Hade LDPE formsprutats istället så hade trycket behövt ökas då denna plast har större krympning vid stelningen (tabell 1). Resultatet av denna formsprutning ses i figur 14. Detaljen är fullt utfylld och plasten är klar genom hela detaljen, den skenbart mest estetiskt tilltalande av de formsprutade detaljerna men dock den minst önskade. I formsprutningsprocessen är det endast fyrkantsprofilen som skall bli komplett och utgångskaviteten bör inte fyllas helt då detta ger onödig tids och materialåtgång. Det blir även en tryckspik i formen när denna är helt fylld. För att inte hinna få in lika mycket plast i formrummet sänktes därför succesivt I_t . Vid sprutning nummer fyra, figur 13, var $I_t = 0,1$ s och ingen smälta han ta sig in förbi inloppskanalen. Vid sjunde provningen valdes en insprutningstid på 0,22 s vilket gav endast en liten rest efter Fresnellslinsen (figur 14) och därmed valdes I_t till 0,22 s.



Figur 13 Insatsen som användes vid formsprutning.



Figur 14 Formsprutade detaljer vid parameterinställning.

Det sjunde provet har dock fortfarande en väldigt klar och symmetrisk insprutningskanal. Därför minskades K_t till 5 s och E_t till 0,5 s inför det åttonde provet. Det sökta resultatet var att minimera cykeltiden och ändå bibehålla god form i det fyrkantiga formrummet. Vad som görs är att genom minskning av kyltiden tillåts endast kvadraten fullt stelna i formrummet. Inloppskanalen hinner inte stelna helt och den termiska kontraktionen ger upphov till ett undertryck i inloppskanalen vilket till slut skapar en luftbubbla i denna. Det visade sig att en så hög E_t gav onödigt mycket smälta i verktyget varmed E_t sänktes tillbaka till 0,1 s. Dessa inställningar gav prov nummer nio som visar på en bra formsprutningscykel. En sista ändring gjordes till försök tio genom att sänka K_t till 2 s. Detta gav dock resultatet att smältan i den första cirkulära kaviteten precis innan det rektangulära formrummet inte helt hann stelna innan cykeln var över. Därför ändrades K_t tillbaka till 5 s. Det är i denna valda kyltid som den grumliga inloppskanalen uppstod. Direkt när kylningen påbörjas kommer flera små bubblor i inloppskanalen börja bildas som ett resultat av termisk kontraktion. Ju mer långsamt kylningen sker desto större kan dessa bubblor växa och till slut växer de ihop. Grumligheten är alltså ett tecken på att inloppskanalen inte tillåts stelna i formen, vilket är önskvärt.

Med inställda parametrar i formsprutan sattes formsprutan i automatläge och maskinen formsprutade ett tiotal detaljer innan processen avslutades. Ett urval av dessa ses i figur 15 och deformationen av de sista två beror på att dessa inte stöttes ut ordentligt utan fastnade i formen under formsprutningscykeln. När dessa satt fastklämda mellan verktygshalvorna kunde inte verktyget heller helt stängas vilket medförde att de detaljer som formsprutades samtidigt fick skägg när smältan kunde ta sig ut mellan formhalvorna. Att detaljerna inte stöttes ut ordentligt har sin förklaring i att utstötarpaketet inte var komplett. En av de två utstötarna i formrummet saknades och därmed hade sprutan svårt att själv stöta ut detaljerna.



Figur 15 Formsprutade detaljer vid automatkörning.

Det hamnade även små rester av stelnad smälta i form av tunna trådar mellan formhalvorna vid dessa misslyckade cykler. De tunna trådarna gjorde genast intryck i magnesiuminsatsen. Då formsprutningen genast avslutades kunde ingen utvärdering av vad dessa små intryck skulle ge för effekter vid fortsatt formsprutning. I övrigt gav formsprutningsprocessen inga för ögat synliga åverkningar på verktyget och det är gruppens åsikt att resultatet av formsprutningen är att det är fullt möjligt att formspruta i magnesiumverktyg.

Tabell 9 Parametervärden vid inställning av formsprutan. Den sista raden representerar de värden som användes vid automatkörning.

Detaljn.	Insprutning [s]	Tryck [bar]	Eftertryckstid [s]	Kyltid [s]	Volym [cm ²]
1	1	700	0,1	15	19
2	0,5	700	0,1	15	19
3	0,3	700	0,1	15	19
4	0,1	700	0,1	15	19
5	0,2	700	0,1	15	19
6	0,25	700	0,1	15	19
7	0,22	700	0,1	15	19
8	0,22	700	0,5	5	19
9	0,22	700	0,1	5	19
10	0,22	700	0,1	2	19
11-25	0,22	700	0,1	5	19

6. Diskussion

Provning

Tidigt under projektet fanns en osäkerhet kring om magnesium skulle gå att använda vid de temperaturer som formsprutning kan kräva. Det fanns även en fråga om det skulle vara möjligt att tillverka ett eget verktyg med tillräcklig precision. Den senare frågan besvarades under besöket på Plastteknik då uppfattningen där var att en noggrannhet på en hundraedels millimeter gav ett verktyg som var möjligt att använda i en formspruta. Frågan kring temperaturen i formsprutan fick sitt svar när tabeller över de mekaniska egenskaperna för AZ31B kunde jämföras med de temperaturer som plaster har vid formsprutning. Tillsammans med den enkla geometri som utformades i insatsen var förväntningarna att verktyget skulle hålla och formsprutningen var möjlig. Dock finns fortfarande en osäkerhet kring resultaten då det inte fanns möjlighet att analysera varken de formsprutade detaljerna eller verktyget efter annat än, för ögat, synliga defekter. Uppfattningen är dock att formrummet klarat sig utan defekter genom formsprutningen. Detta tillsammans med kvaliteten på detaljerna ger slutsatsen, magnesium går att använda som verktygsmaterial för att formspruta plast.

Laborationsformsprutningen visade på att det är möjligt att formspruta mindre serier. Det kunde inte utrönas huruvida en kortare cykeltid och fullproduktion påverkar ytfinheten eller kvaliteten, då det endast formsprutades ca 25 stycken detaljer. Tio av dessa 25 var inkörningsdetaljer där rätt inställningar itererades fram och resterande 15 gjordes i helautomatiskt läge. Vissa av detaljerna har skägg vid delningsplanet, men detta kunde snabbt härledas till att förgående formsprutad detalj inte hunnit falla förbi verktyget utan klämts vid nederdelen av formen. Det var endast inloppsdelens som klämts, dock har den en diameter på ca 4-5 mm som under låsningskraften gett upphov till ca 0,2 mm tjockt skägg. Efter varje utstötning drogs en plasttråd ut från inloppskanalen och plastsmältan som vid vissa fall inte heller hann falla ur verktyget utan fastnade under nästa cykel. En del av dessa trådar gav synliga sättningar i magnesiumytan. Slutsatsen av detta är att magnesium klarar trycket så länge allt sker kontrollerat, det vill säga när plasten håller sig på rätt plats. Dessa synliga sättningar syntes i magnesiumet och skulle kunna ge upphov till skägg om fullproduktionen fortsatt. Sättningen försvann i skarven mellan magnesiumet och stålet, så stålet klarar sådana trådsättningar. För att slippa detta problem skulle kyltiden kunna förlängas så att ett mer rent snitt sker i inloppskanalen. Men att ens sådana trådsättningar blir synliga tyder på att magnesiumet har lätt att plasticera och inte lämpligt för längre serier, även med en så enkel plast som polystyren.

Vid provningen uppstod inga problem med temperaturen hos smältan, detta då polystyren håller en tillräckligt låg temperatur och att verktyget svalnade tillräckligt fort. Vill man i framtiden formspruta med en annan plast bör användandet av mjukgörare beaktas för att kunna hålla nere smälttemperaturen. Även andra tillsatsämnen till exempel fyllmedel hade kunnat hjälpa till att ändra formsprutningsparametrarna för att möjliggöra magnesium som verktygsmaterial.

Ekonomi

Råvarupriserna för aluminium är 13,9 kr/kg, magnesium 21,2 kr/kg och stål 5,4 kr/kg. Priserna är hämtade från www.metal-supply.se den 2 maj 2012. Vid en jämförelse mellan magnesium och aluminium, som ligger närmast tillhands vid mindre produktionsserier, går det att tillgodoräkna sig volymen då aluminium har ca 50 % högre densitet vilket tar ut prisskillnaden. Materialkostnaden är dock av väldigt liten relevans då bearbetningskostnaden är den största faktorn. På grund av detta är det fördelaktigt att använda magnesium. Även det låga priset på stål är marginellt vid en jämförelse i totalkostnad.

Bearbetningskostnaden handlar framförallt om vilken tid det tar att avverka material. Ståltider och materialhantering kan tänkas vara lika för olika material men magnesiums sprödhet och motstånd mot att binda sig med stål gör det möjligt att ha högre matningshastigheter och därmed avverka mer på kortare tid. Det som talar emot magnesium är risken att spånorna antänder. För att förhindra detta kommer förmodligen en verkstad utan erfarenhet av arbete med magnesium att använda en långsammare avverkning tillsammans med skärvätska, vilket minskar magnesiums fördelar. Istället bör tillverkaren mata på för att få skäret att snabbt lämna det varma området och sedan är också hanteringen av spånorna viktigt. Ligger magnesiumspånor kvar i spånbädden finns risk att dessa antänder vid senare bearbetning, då andra material kan uppnå högre temperaturer vid bearbetning. Den goda värmeledningsförmågan tillsammans med användning av skärvätska borde dock göra det möjligt att hålla en så hög bearbetningshastighet att ett magnesiumverktyg är ekonomiskt försvarbart för formsprutning av kortare serier. Det kanske största problemet med magnesium vid tillverkningen skulle förmodligen uppkomma vid slipningen av en magnesiumyta med maskinhjälp. Då är det möjligt att temperaturen skulle kunna komma upp över smälttemperaturen lokalt och därmed få metallen att antända, men det är enkelt avhjälpt med våtslipning.

Skall dessa fördelar med att bearbeta magnesium kunna få tillräcklig effekt måste det dock handla om stora avverkningsvolymen. Ofta finns stora tidsförluster för att ta fram bearbetningsparametrar, ställa in maskinen samt hanteringsförluster. Vid en kortare avverkningstid, små avverkade volymer, minskar den procentuella tiden för bearbetning och fördelarna blir inte lika stora. Istället handlar det om stora avverkade volymer med komplexa geometrier.

Ett problem som kan uppstå för den som bestämmer sig för att tillverka ett verktyg i magnesium är tillgängligheten på material. I arbetet har det endast hittats en svensk leverantör av smidda legeringar i magnesium, KG Fridman AB. De hade endast AZ31B hemma och sade sig vara ensamma i Norden om att lagerföra smitt magnesium. Som nämnts är gjutning av magnesium den vanligaste formen av användning och det bör inte vara omöjligt att hitta ett gjuteri som gjuter magnesium, men dessa legeringar är sprödare än de smidda. Att hitta en materialleverantör bör vara något av det första som görs om applikationen formsprutningsverktyg skall använda magnesium.

För att kunna framställa bland annat inåtvända vinklar utan radie i ett verktyg krävs i dagsläget att man använder sig av gnistning. Det har i texterna som studerats varit en vanlig och grundläggande bearbetningsmetod vid verktygstillverkning som kommer att behöva appliceras på magnesium. Det har varit svårt att komma över litteratur som kopplar samman magnesium med gnistning. Det går därför inte med säkerhet att säga att gnistning går att applicera på magnesium utan problem. Även om gnistning fungerar går det inte att säga vilken ytfinhet som är möjlig att uppnå eller om

avverkningstiden är likvärdig andra verktygsmaterial. Detta är en konventionell metod och krävs i de flesta fall då mer avancerade geometrier framställs. Det är en förutsättning att magnesium går att gnista för att kunna konkurrera med andra material inom prototypformsprutning.

Materialegenskaper

Ses till hållbarheten hos ett verktyg är stål det självklara valet. När det däremot handlar om kortare serier eller prototypstillverkning är magnesium eller aluminium att föredra. Handlar det om riktigt korta serier med små detaljer är den relativt nya tillverkningsmetoden rapid prototyping dock överlägsen formsprutning. Enligt våra tester är magnesium väldigt känsligt för högre tryck eller temperaturer vilket begränsar antalet formsprutningsbara plaster, samt även relativt lätt att plastiskt deformera. Vid ovarsam hantering kan verktyget enkelt skadas, antingen med fel formsprutningsparametrar eller allmänna repor och slag. Skulle däremot företaget specialisera sig på magnesium som material för verktyg, från verktygstillverkning till formsprutning, skulle en ekonomisk fördel infinna sig. Även den totala tillverkningstiden skulle bli kortare vid snabbare bearbetning, och därmed kortare tid från order vilket ger ett mervärde för kunden. Slutsatsen blir dock att magnesiums dåliga mekaniska egenskaper, som dess låga elasticitetsmodul vid högre temperaturer, inte gör materialet till en konkurrent till konventionella material utan snarare ett alternativ vid stora avverkningsvolymerna och komplexa former. Däremot förekommer inte magnesium alls inom branschen, förmodligen för att magnesium oftast uppfattas som ett dyrt och exotiskt material. En mer omfattande ekonomisk studie skulle därför vara intressant med mera konkreta exempel. Kostnaden för vårt projekt blev på pappret noll då material skänktes till oss och alla tillverkningsmöjligheter fanns på institutionen. Det skulle även vara intressant att närmare studera vilka möjligheter som finns att värmebehandla magnesium för att lokalt få en högre hållfasthet. En tanke som kommit upp under projektets gång är möjligheterna att eloxera magnesiumet genom att anodisera den i en sur elektrolyt eller att använda en metod som kallas *Plasma electrolytic oxidation*. Med den senare metoden påstår tillverkaren att hårdheten skulle kunna höjas till 400-500 HB.

Testningen av magnesiumverktyget var inte speciellt omfattande på grund av otillräckliga resurser och tid. Det som testerna visade var att det initialt fungerar med magnesium då det till exempel inte kladdar fast kring utstötarna när det utsätts för högre tryck, inga synliga sprickor eller defekter kunde detekteras samt avbildningen var god. Det verktyg som testades är dessutom infällt i en stålkassett som i sin tur tar upp mycket av trycket, vilket fördelar krafterna bra i magnesiuminsatsen. Huruvida magnesium står emot större antal cykler eller abrasiv nötning är inte uträknat. Detta behöver inte nödvändigtvis vara ett problem. Som tidigare behandlat finns möjligheten att ytbehandla eller lägga ett skyddande skikt mot nötning så att extra ythårdhet erhålles. Ett annat alternativ är också att legera upp metallen så att bättre mekaniska egenskaper fås. Även hur andra plaster än polystyren fungerar med magnesium hade varit av vikt att prova, polystyren är en av de enklare plasterna att formspruta då den har lämpliga reologiska egenskaper.

Temperaturen skall inte bli något problem då verktyget aldrig blir så varmt att metallen förlorar sina egenskaper, enligt teorin (tabell 1). Temperaturen i verktyget och hos plastsmältan kunde inte heller testas. Det fanns inte tillgång till utrustning så att en sådan studie skulle kunnat bidra med ett relevant resultat. Ett test där endast värmeutvecklingen i verktyget undersöks i ett verktyg kontra tryckcykler och kylning hade bidragit, detta är dock ett mer kostsamt och tidskrävande projekt. Kylkanalerna i kassetten kopplades inte in, så ingen kylning användes, det fanns heller inte någon temperaturkontroll. Magnesium kan även användas som till exempel koppar används idag, alltså till inloppskanaler eller inloppsbussningar, sådana ställen som smältan skall flyta bra. Det finns även exempel på sådana ställen inne i formrummet där geometrin kan vara en flaskhals. Magnesium passar tack vare dess goda värmeegenskaper till dessa typer av applikationer, när delarna inte har större geometriska krav. Dock skulle problem kunna uppstå med korrosion i kontaktytorna mellan magnesium och ett stål. Detta bör avhjälpas på det sätt man gör för att undvika korrosion mellan

koppar och stål. Förslagsvis genom att separera kontaktytorna med någon beläggning och ha ett kontinuerligt underhåll av verktyget.

Det hade varit intressant att på mikronivå studera såväl den yta där Fresnellinsen skall graveras som formrummet i verktyget för att kunna utröna vilken form av slitage som verktyget åsamkats under formsprutningen och hur detta påverkar ytan på den formsprutade detaljen. Med en sådan analys skulle fler slutsatser kring verktygsmaterialets lämplighet kunna dras och en uppfattning över vilka parameterar förutom varmhållfastheten som påverkar livslängden på verktyget och i vilken grad dessa spelar in.

När valet gjordes att ett verktyg skulle tillverkas begränsade detta omfånget i teoristudien angående olika magnesiumlegeringar. Fokus fick skiftas mot att kunna utforma verktyget utifrån AZ31B och dess egenskaper. Det resulterade i att utformning och analys av provning hela tiden relaterar mot en specifik legering. Fördelen med materialet är att det är en konventionell magnesiumlegering vilket håller nere priset. Det visar sig i teorin att en legering med zirkonium eller RE skulle ge bättre egenskaper vid högre temperaturer som är aktuella i formsprutning. Vissa av dessa legeringar som är kopplade endast mot rymd- och flygindustrin kan antas vara dyra och förmodligen inte bli ekonomiskt försvarbara men flera av legeringarna borde ändå ha en intressant kompromiss mellan ekonomi och mekaniska egenskaper.

7. Rekommendationer

Vid en vidare undersökning är det intressant att titta på mer specifikt hur gnistning kan appliceras på magnesium. Frågor som skulle behöva besvaras är om det finns fördelar med denna bearbetningsmetod som ger användandet av magnesium fler argument eller kanske eventuellt nackdelar. Av största intresse hade varit att hitta ett företag som har tillämpat bearbetningsmetoden på magnesium.

Det finns tydliga tendenser på att användandet av magnesium medför ekonomiska fördelar. Om projektet skulle påbörjats på nytt med den information som presenterats i rapporten hade det varit intressant att få tag på företag som arbetar med verktygstillverkning för att konkret kunna understödja tendenserna och göra en djupare studie inom området. Att ställa upp en kostnadsanalys för verktygsframtagning och även formsprutning för att kunna utröna vid vilken smärtgräns som lågserieproduktion är tillämpbar hade varit givande för att ytterligare utröna magnesiums möjligheter.

För att ta projektet till nästa steg och verkligen sätta magnesium på prov kan ett större verktyg tillverkas och testas mer ingående. Om det funnits mer tid och resurser hade det varit intressant att titta på hur temperaturen förändras i verktyget samt undersöka verktygsytorna med mikroskop. Detta för att närmare studera vilken form av slitage som förekommer och hur denna påverkas av formsprutningsinställningarna. Att tillverka ett med stor avverkningsvolym och ett komplext mönster, och jämföra detta med ett stålverktyg av samma typ hade varit givande. Undersöka vidare hur krafterna överförs i verktyget och analysera om magnesium klarar av trycket utan att befinna sig i en stålram hade varit ett bra komplement.

Det syntes tydligt vid verktygstestet att magnesium inte är ett starkt material utan det blev sättningar i ytan då plasttråden fastnade mellan verktygsytorna, på stålet fanns inte en skråma. Att ytbelägga magnesium kan vara ett alternativ som ger bättre mekaniska egenskaper. Men även detta område bör studeras närmare. En efterbehandling bör inte vara för kostsam eller tidskrävande för att magnesium skall vara konkurrenskraftigt. Det vore även intressant att titta på i vilken mån värmebehandlingar kan höja hållfastheten lokalt i verktyget. Värmebehandlingarna bör utföras efter bearbetningen för att inte påverka bearbetbarheten.

8. Slutsats

Det har praktiskt visats att magnesium tål de temperaturer och tryck som en formsprutningsprocess kräver vid tillverkning av plastdetaljer. Det saknas data på vilken mängd cykler som ett verktyg kan tänkas klara av men det finns ändå en nisch där det går att formspruta i magnesium (vid komplexa geometrier och stora avverkningsvolymmer).

Jämfört stål som verktygsmaterial har magnesium avsevärt lägre hållfasthet och varmhållfasthet. Detta medför att inte lika många cykler kan utföras och ett magnesiumverktyg kan kräva en stålram för att klara av de tryck som uppstår vid formsprutning i större verktyg. Det finns stora risker för abrasiv nötning och sättningar i ett verktyg av magnesium vilket också kommer minska antalet cykler som verktyget kan betraktas som brukbart.

Att magnesium är billigare att tillforma med skärande bearbetning har påvisats speciellt för komplexa geometrier och vid stor avverkning. Stora volymer kan konkurrera såväl med stål som med aluminium, framförallt är finbearbetning snabbare i magnesium än i aluminium. Vid komplexa geometrier gör magnesiums fördelaktiga spånbrytning att geometrierna kan framställas fortare samt med färre verktygsbyten.

Studien har lett till slutsatsen att det går att använda magnesium som verktygsmaterial. Det saknas bearbetningsdata, hållbarhetsberäkningar samt en grundlig ekonomisk analys, men skulle dessa genomföras är det gruppens åsikt att slutsatserna kommer peka på att magnesium är ett fördelaktigt material som för formsprutning med färre cykler har en marknad.

Källförteckning

ASM Handbooks: Electrical Discharge Machining

URL:<http://products.asminternational.org.proxy.lib.chalmers.se/hbk/do/section/content/EM/D09/A05/S0072343.html?anchor=top&highlight=true&start=0>

Hämtad 2012-02-29

ASM Handbooks: Machining Operations

URL:<http://products.asminternational.org.proxy.lib.chalmers.se/hbk/do/section/content/VBE/D05/A04/s0503254.htm?anchor=top&highlight=true&start=0>

Hämtad 2012-02-29

ASM Handbooks: Principles of Electrical Discharge Machining

URL:<http://products.asminternational.org.proxy.lib.chalmers.se/hbk/do/section/content/V14B/D06/A05/s0101460.htm?anchor=top&highlight=true&start=0>

Hämtad: 2012-02-29

ASM Handbooks: Properties of Pure Metals, Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials, Vol. 2, ASM International, 1990, p 1099-1201

ASM Handbooks (2002) *Volume 16* Machining

URL: <http://products.asminternational.org/hbk/index.jsp>

Hämtad: 2012-04-26

Busk, R S., (2002) Magnesium and it's Alloys. *Handbook of Materials Selection*, red. Kurts, Meyer, s.259-265, [Elektronisk] John Wiley & Sons

Dakumar Plastic Injection Molding (2007)

URL: <http://www.dakumar.com/blog/plastic-injection-molding-temperature-278.html>

Hämtad 2012-02-15

Edshammar, L-E., (2004) Materialorienteringar och formgodsets krympning. *Plastforum nr 12*

URL: http://www.plastnet.se/iuware_files/user/plastnet.se/pdf/bearbetning_a-o/04_12.pdf

Hämtad: 2012-01-26

Eliezer, D., Alves,H. (2002) Corrosion and Oxidation Magnesium Alloys. *Handbook of Materials Selection* red. Kurts, Meyer, s. 267-291, [Elektronisk] John Wiley & Sons

Housh, S., Mikucki, B., Stevenson, A., (1990), Properties of Magnesium Alloys, *Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials*, Volume 2, *ASM Handbooks*, ASM International, s.480–516

Hågeryd, L., Björklund, S., Lenner, M., (2002) *Modern Produktionsteknik: Del 1*, Liber

Kp. 7.4 Formsprutning

Kp. 6.3.5 Gnistbearbetning

Klason, C., Kubát, J., (författare) Boldizar, A., Rigdahl, M., (redaktörer) (2002) *Plaster: Materialval och materialdata*, Liber

Kp 8.3 Formsprutning

Tabell 12.2 Riktvärden för formkrympning hos olika material

Machining Magnesium

http://www.nanomag.us/Hydro_Mg_Brochure_Machining_Mg.pdf

Hämtad: 2012-03-25

Menges, G., Michaeli, W., Mohren, P. (2001) *How to Make Injection Molds* (3rd Edition); Hanser Publishers

Plastforum,

http://www.plastnet.se/iuware_files/user/plastnet.se/pdf/bearbetning_a-o/04_09.pdf

Hämtad: 2012-02-15

PlasticsTechnology (2012)

URL: <http://www.ptonline.com/kc/articles/Flow/linear-shrinkage-vs-volumetric-shrinkage>

Hämtad 2012-02-22

Polmear, I J., (2006) *Light Alloys: from traditional Alloys to Nanocrystals*, 4th edition. Elsevier Ltd.

Polmear, I J., (1994) Magnesium alloys and applications. *Material Science and Technology*, vol. 10, nr 1

Smith, E., H., (1998) *Mechanical Engineer's Reference Book* (12th Edition); Elsevier

Turng, L.-S., Goodman, S. H., (2008) *Plastics processing. AccessScience*.

URL: <http://www.accessscience.com.proxy.lib.chalmers.se/content.aspx?searchStr=injection+molding&id=526800#526800s001>

Hämtad: 2012-01-26

Unger, P., (2006) *Gastrow Injection Molds - 130 Proven Designs* (4th Edition) Hanser Publishers

URL: http://www.knovel.com/web/portal/basic_search/display?EXT_KNOVEL_DISPLAY_bookid=1995

Hämtad: 2012-02-22

Zohdi, M., E., Biles, W., E., Webster, D., B., (1998) *Mechanical Engineers' Handbook* (2nd edition) s.1040, John Wiley & Sons

Bilaga 1 – Kravspecifikation

Kravspecifikation – Magnesiumverktyg Datum: 2012-04-17 Utfärdare: MTTX02-12-02, Linn Myrthil Skagerlind, Emil Ödebrink, Linus Larsson			
K = krav Ö = önskemål			
Område	Beskrivning	K/Ö	Test
1. Utformning			
1.1	50 x 50 x 10	K	Kontrollera om den passar i insatsen
1.2	Tolerans H7*	K	Mäta
1.3	Arean på den formsprutade plastdetaljen får ej överstiga 20 cm ² p.g.a. låsningskraft på 250 kN **	K	Mäta
2. Användarvänlighet			
2.1	Det skall vara relativt enkelt att byta form. Insatsen skall ej fastna i kassetten vid formsprutning, alltså inte plasticera	K	Passar den i insatsen
3. Livslängd			
3.1	Klara av en formsprutningscykel	Ö	Test
4. Säkerhet			
4.1	Hantera lättantändliga spånor på rätt sätt.	K	Överlämnat till H. Millqvist
4.2	För säkerhet vid körning skall insatsen klara en låsningskraft på 25 kN	K	FEM-analys
5. Prestanda			
5.1	Materialet skall klara en insprutningskraft upp till 125 MPa	K	Formsprutning
5.2	Kunna formspruta majoriteten av de vanliga termoplasterna	K	Formsprutning
5.3	Kunna formspruta armerade plaster	Ö	Teori
5.4	Klara körningstemperaturer upp till 175°C	K	Teori
5.5	Inte bilda skägg	Ö	Formsprutning
6. Underhåll			
6.1	Rengöring sker vid behov	Ö	Formspruta och undersök ytan
7. Ekonomi			
7.1	Hållas inom budgeten för kandidatarbetet (2000 SEK)	K	Föra budget

* Tolerans

För att underlätta formpassningen och garantera att verktyget sluts ordentligt vid körning och därmed undvika skägg kommer höjden på magnesiuminsatsen göras något högre än stålinsatsen. Hookes lag används för att magnesiuminsatsen inte skall deformeras permanent och därmed säkra att endast elastisk deformation sker.

Hookes lag ges av:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = 0,004$$

där ε [%] är den töjning som maximalt kan ske utan att plastisk deformation uppkommer.

$\sigma = 180$ MPa (sträckgräns för AZ31 vid kompression)

$E = 47\,000$ MPa (E-modul för AZ31)

Sträckan som kan elastiskt deformeras ges då av:

$$\varepsilon \cdot L = \delta = 0,04 \text{ mm}$$

där

$$\varepsilon = 0,004$$

$L = 10 \text{ mm}$ (höjd på stålinsatsen)

Den maximala höjden som magnesiuminsatsen kan ha blir då 10,04 mm och för att ge marginal åt tillverkaren sätts måttet till $10,02 \pm 0,02 \text{ mm}$ eller H7/h7.

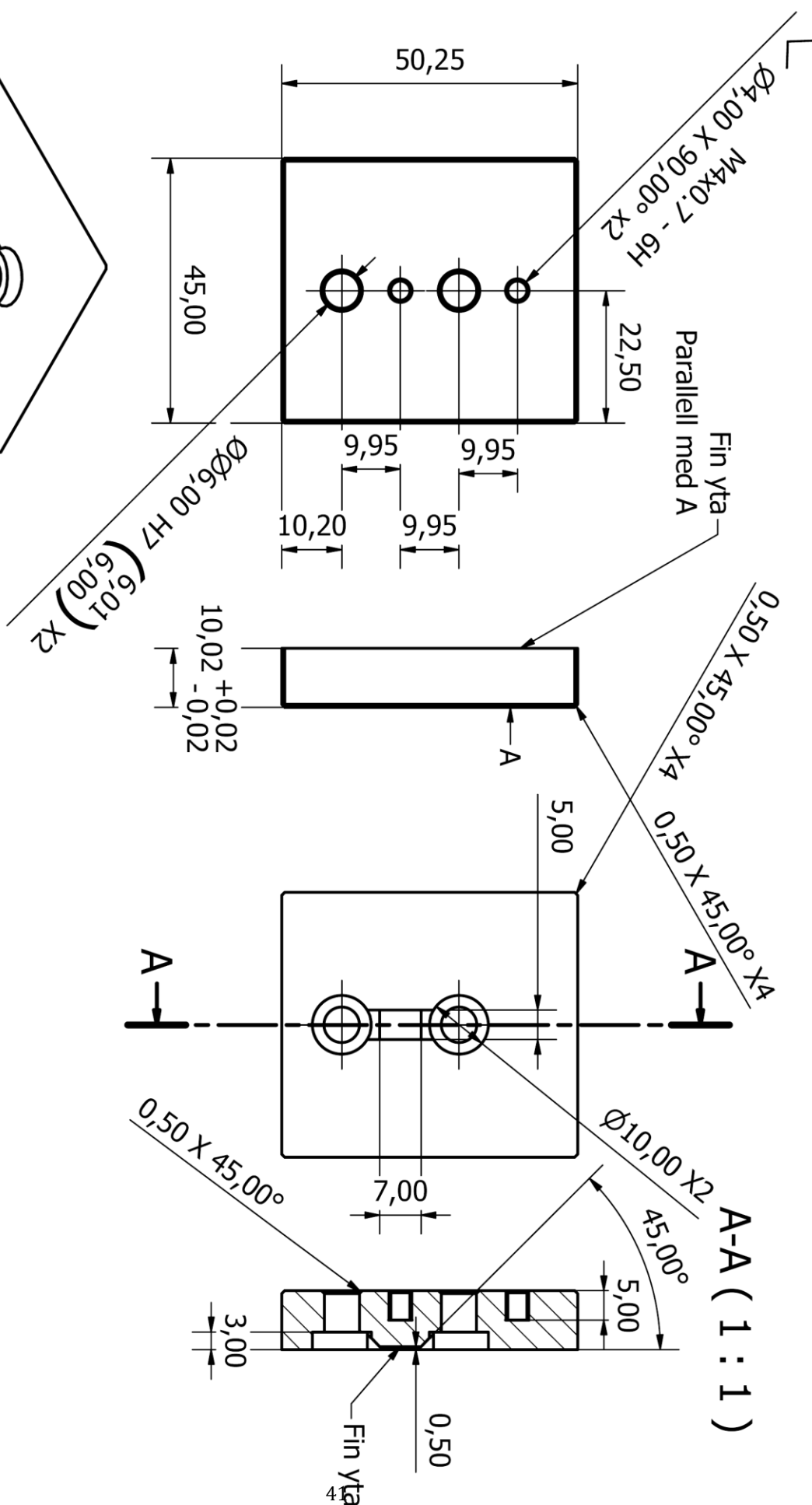
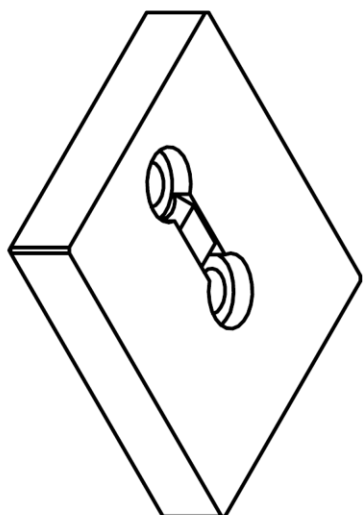
**** Öppningskraft & projicerad area**

Låsningskraften hos formsprutan ligger på 250 kN och under körning är det ett krav att insprutningskraften inte överstiger detta. För att säkerställa att verktyget inte öppnas vid körning på grund av det höga plasttrycket kontrolleras detta enligt ekvation nedan:

$$A_{max} = \frac{F_{lås}}{\sigma_{insprut}} = \frac{250\,000 \text{ N}}{125\,000\,000 \text{ Pa}} = 20 \text{ cm}^2$$

Den projicerade arean hos detaljen som skall formsprutas är $2,0 \text{ cm}^2$ vilket är mindre än den maximala arean. Maskinens låskraft är alltså med god marginal tillräcklig för att kunna formspruta detaljen.

Bilaga 2 – Ritning



Designed by	Checked by	Approved by	Date	Date
MTTX02-12-02				2012-03-13

CTH

mg verktvg2

Mg verktyg

Edition

Sheet
1 / 1

Bilaga 3 – Properties of magnesium alloys

Alloy	Composition %						Tensile strength Mpa	Tensile Yield strength Mpa	Elongation in 50 mm %	Shear strength Mpa	Hardness HB
	Al	Mn	Th	Zn	Zr	Other					
Sand and permanent mold castings											
AM100A-T16	10.0	0.1	...	...	...	...	275	150	1	...	69
AZ63A-T6	6.0	0.15	...	3.0	...	...	275	130	5	145	73
AZ81-T4	7.6	0.13	...	0.7	...	...	275	83	15	125	55
AZ91C- and E-T6	8.7	0.13	...	0.7	...	...	275	145	6	145	66
AZ92A-T6	9.0	0.1	...	2.0	...	...	275	150	3	150	84
EQ21A-T6	...	...	...	...	0.7	1.5 Ag 2.1 Di	235	195	2	...	65-85
EZ33A-T5	...	...	...	2.7	0.6	3.3 RE	160	110	2	145	50
HK31A-T6	...	...	3.3	...	0.7	...	220	105	8	145	55
HZ32A-T5	...	...	3.3	2.1	0.7	...	185	90	4	140	57
K1A-F	...	...	...	...	0.7	...	180	55	1	55	...
QE22A-T6	...	...	...	...	0.7	2.5 Ag 2.1 Di	260	195	3	...	80
WE3A-T6	...	...	...	...	0.7	4.0 Y 3.4 RE	250	165	2	...	75-95
WE54A-T6	...	...	...	...	0.7	5.2 Y 3.0 RE	250	172	2	...	75-95
ZE41A-T5	...	...	...	4.2	0.7	1.2 RE	205	140	3.5	160	62
ZE63A-T6	...	...	...	5.8	0.7	2.6 RE	300	190	10	...	60-85
ZH62A-T5	...	...	1.8	5.7	0.7	...	240	170	4	165	70
ZK51A-T5	...	...	...	4.6	0.7	...	205	165	3.5	160	65
ZK61A-T6	...	...	...	6.0	0.7	...	310	195	10	180	70
Die castings											
AM60A- and B-F	6.0	0.13	...	...	...	...	205	115	6	...	...
AS21X1	1.7	0.4	...	...	...	1.1 Si	240	130	9	...	...
AS41A-F	4.3	0.35	...	...	...	1.1 Si	220	150	4	...	...
AZ91A,B- and D-F	9.0	0.13	...	0.7	...	...	230	150	3	140	63
Extruded bars and shapes											
AZ10A-F	1.2	0.2	...	0.4	...	...	240	145	10	...	...
AZ31B- and C-F	3.0	...	...	1.0	...	...	260	200	15	130	49
AZ61A-F	6.5	...	...	1.0	...	...	310	230	16	140	60
AZ80A-T5	8.5	...	...	0.5	...	...	380	275	7	165	82
HM31A-F	...	1.2	3.0	...	...	...	290	230	10	150	...
M1A-F	...	1.2	...	...	...	...	255	180	12	125	44
ZC71-F	...	0.5- 1.0	...	6.5	...	1.2 Cu	360	340	5	...	70-80
ZK21A-F	...	...	...	2.3	0.45	...	260	195	4	...	...
ZK40A-T5	...	...	...	4.0	0.45	...	276	255	4	...	...

ZK60A-T5	...	...	...	5.5	0.45	...	365	305	11	180	88
Sheet plate											
AZ31B-H24	3.0	...	...	1.0	...	...	290	220	15	160	73
HK31A-H24	...	...	3.0	...	0.6	...	255	200	9	140	68
HM21A-T8	...	0.6	2.0	...	...	...	235	170	11	125	...

(Data från Housh, Mikucki, Stevenson, 1990)