

Soft brass

Elin Broström

Luleå tekniska universitet
Civilingenjörsprogrammet
Maskinteknik
Institutionen för Tillämpad fysik, maskin- och materialteknik
Avdelningen för Materialteknik

Förord

Detta examensarbete utgör det avslutande momentet på civilingenjörsutbildningen inom maskinteknik vid Luleå tekniska universitet. Arbetet innefattar 30 högskolepoäng och har genomförts på Norma Precision AB.

Jag vill tacka framför allt Norma Precision AB som låtit mig göra examensarbetet hos dem. Jag vill särskilt tacka min handledare Arne Klevestrand. Dessutom vill jag rikta ett stort tack till min examinator Esa Vuorinen som hjälpt mig när jag kört fast. Jan Granström som hjälpte mig att utföra dragproven förtjänar även han ett tack. Sist men, definitivt inte minst, vill jag tacka Johnny Grahn, som hjälpt mig med SEM-undersökningar och det mesta som strulat.

Stort tack till er allihop!

Elin Broström
Luleå, 2008-05-29

Sammanfattning

Denna rapport ingår som den avslutande delen av ett examensarbete på civilingenjörsprogrammet inom maskinteknik, vid Luleå tekniska universitet. Examensarbetet har utförts på uppdrag av Norma Precision AB och behandlar ett problem som internt benämns *Soft brass*.

Soft brass är ett materialtillstånd som innebär att materialets sträckgräns är för låg. Detta medför att tändhatten lossnar vid avfyrning. Uppgiften bestod i att ge förslag på materialval och bearbetningsförfarande för patronhylsor, så att tillräcklig sträckgräns på färdiga hylsor kan uppnås. För att undersöka detta har det gjorts en mängd undersökningar med OM och SEM samt hårdhetsmätningar och kornstorleksmätningar. Dessutom har det gjorts dragprov för att försöka koppla hårdheten mot deformationsgraden.

Det har funnits att för att uppnå tillräckligt hög sträckgräns på materialet, bör Norma Precision AB utnyttja deformationshärdning av tändhattsläget.

Innehållsförteckning

Förord	1
Sammanfattning	2
Innehållsförteckning	3
Inledning	5
Historik om företaget	6
Tillverkningen	9
Tryckmätning	10
Dragpressning	11
Material för dragpressning	11
Möjliga defekter	12
Utrustning för dragpressning	12
Teknik vid dragpressning	13
Ämnesdimension	13
Formändring per pressning	13
Inverkan av materialegenskaper	13
Inverkan av tjocklek	14
Dynkantradie och stämpelkantradie	14
Dragspalt	14
Tillhållarkraft	14
Presshastighet	14
Smörjmedel	15
Mellanglödning	15
Allmänt om koppar och kopparlegeringar	16
Framställning av koppar	16
Struktur	16
Återvinning	17
Egenskaper	17
Elektrisk ledningsförmåga	17
Korrosionsresistens	17
Ytoxidering av koppar	17
Sträckgräns	18
Varm- och kallbearbetning	18
Härtningsgrader	18
Sammanfogning	18
Klassificering	18
Indelning av koppar och dess legeringar	19
Ren koppar	20
Höghaltiga kopparlegeringar	20
Mässing	20
Mässingens struktur	20
Mässingens egenskaper	21
Skärbarhet	21
Mässing utan tillsatser	22
Mässing med tillsatser	23
Blyhaltig mässing	23
Specialmässing	23
Indelning av mässing	24
Kristallografi	25
Störningar i kristallgittret	25

Härdningsmekanismer	27
Lösningshärdning	27
Deformationshärdning	27
Korngränshärdning	27
Rekristallisation	28
Arbetet	29
Problemformulering	29
Tillvägagångssätt	29
Provberedning	29
Studier med OM	30
Dragprov	30
Hårdhetsmätningar	32
SEM-undersökning	32
Kornstorleksmätning	32
Resultat	33
Studier med OM	33
Studier med SEM	34
Hårdhetsmätningar	34
Hylsämnen	34
Dragprov	34
Kornstorleksmätning	35
Slutsats	36
Diskussion	37
Fortsatt arbete	38
Litteraturförteckning	39
Bilagor	40

Inledning

Problemet som Norma Precision AB brottas med har internt fått benämningen *Soft brass*. *Soft brass* är det tillstånd då det högsta inre trycket i en hylsa blir så högt att tändhatten lossnar från sitt läge vid avfyrning. Vid för lågt *Soft brass*-värde är hylsmaterialets sträckgräns för låg, vilket resulterar i att hylsan vid eldgivning expanderar i bakkant med kvarvarande deformation som följd. För att uppnå tillräcklig sträckgräns för hylsmaterialet krävs att materialval och bearbetningsförfarande, det vill säga drag- och pressoperationer samt värmebehandlingar, optimeras.

Arbetet har haft som målsättning att ge förslag på nytt materialval och bearbetningsförfarande för patronhylsor, så att tillräcklig sträckgräns på färdiga hylsor kan uppnås.

Anledningen till att detta är ett problem för företaget, är absolut inte att vanliga skyttar löper någon större risk att råka ut för alltför högt tryck i sina patroner, utan för att Norma vill kunna sälja övertryckspatroner till vapentillverkare. För att en vapentillverkare ska få sälja ett vapen måste det vara testat och godkänt. Vapnet testas genom att det avfyrats ett skott med ett 25 % högre tryck än i vanliga patroner. Norma är redan världsledande på denna marknad, men varför ge sig bara för att man ligger på topp?

Historik om företaget

Företaget Norma Precision AB är beläget i det lilla värmländska samhället Åmotfors. Det är en avknoppning till ett norskt företag som grundades av bröderna Johan, Lars och Ivar Enger under slutet av 1800-talet. Dessa tre bröder var alla engagerade i Skarpskytterörelsen i Norge.

Vid slutet av 1800-talet gick hylsutvecklingen mot mindre kalibrar, mycket tack vare det nya rökfria nitrocellulosabaserade krutet. Detta nya krut gav avsevärt högre kulhastighet och gastryck jämfört med det gamla svartkrutet, vilket medförde att de mjuka blyprojektilerna inte längre kunde användas. Det krävdes nu ett yttre skydd för blykärnan, en så kallad mantel. Detta krav medförde att enskilda skyttar inte längre kunde tillverka sina egna blykulor. Skarpskyttet var folkkärt i hela Skandinavien och situationen skapade stor efterfrågan av mantlade kulor. Bröderna Enger startade därför 1894 ett företag för att tillverka dessa och tillgodose skyttarnas behov av mantlade kulor. Företaget fick namnet Norma, vilket förklaras av att en av bröderna, Lars, var en hängiven operafantast och mycket begeistrad i en opera av Bellini som hade just namnet Norma.

De etablerade en liten fabrik i Oslo. Den första projektil som kom att tillverkas var en kort ogivalkula på fem gram. De produktionsproblem som fanns i början, tvingade bröderna att importera kulor från Tyskland. Alldeles före sekelskiftet fick de tag i ett par av de hemliga franska Balle D-kulorna. Dessa användes sedan som utgångspunkt för Normas egen produktion av långa kulor. Det var under denna produktionsutveckling som Normas dåvarande ballistikchef, Karl Wang, kom på en ny banbrytande tillverkningsmetod för de långa kulorna. Detta gick ut på att kulan roterades mot ett fast anhåll när höljet veks in vid kulbasen, samtidigt som en liten kon skapades. Genom denna process fick alla kulor en precis avslutning, vilket också gav exceptionellt god precision. Det var just denna upptäckt som gjorde att Norma hamnade i spetsen för kultillverkningen världen över. Denna ledning behöll de ända fram till andra världskriget, då Norma på order av den svenska regeringen nödsakades tillverka ammunition till militären och därigenom också att dela med sig av sina tillverkningshemligheter till konkurrerande statsägda Svenska Metallverken.

Det var i början på 1900-talet som bröderna Enger började exportera sina kulor till grannländerna i Skandinavien. Skarpskytterörelsen i Sverige blev så pass imponerad av kulorna att de bad bröderna att starta en fabrik även i Sverige. År 1902 nappade bröderna på förslaget och skickade yngsta brodern för att ordna en lokal för den nya fabriken. Denna lokal hittades redan på den andra svenska orten som tåget från Oslo stannade på, det vill säga i Åmotfors. Då en lokal var ordnad skickades maskiner från den redan etablerade fabriken i Oslo. Redan innan årets slut hade den svenska filialen fyra anställda och hade tillverkat hela 225 500 kulor, vilka sålts till ett värde av 8022 kronor.

Eftersom det redan från början var de som laddade sina patroner själva som var målgruppen för Norma, sålde svenska Norma även laddutrustningar och tändhattar. Efter bara något år stod det klart att verksamheten vuxit ur den första lokalen, som bara bestod av två rum. En tomt i närheten av järnvägen köptes in år 1911 och den första riktiga svenska fabriken byggdes. De nya lokalerna medgav plats åt fler maskiner och fler anställda. Ända sedan dess har Normas fabrik legat på detta område, men byggnaderna har varierat.

År 1914 utökade Norma sitt sortiment med omladdad 6,5 mm ammunition. De köpte in skjutna hylsor från krigsmakten och rekonditionerade dessa innan de laddades med Normatillverkade kulor och såldes vidare. Denna omladdning av skjutna hylsor blev i takt med att produktionen ökade en av hörnstenarna för Normas verksamhet under många år.

Produktion gjorde dock att tillgången på skjutna hylsor sinade och 1917 beslöt Norma därför att starta egen tillverkning av hylsor. Den första kaliber som tillverkades var 6,5x55, vilken var den kaliber som både svenska militären och banskyttarna använde.

Då själva laddningen av patronerna fortfarande gjordes för hand, under stor produktionsstress, blev laddvikterna ofta olika i patronerna. Dessutom var tillverkningshastigheten alltför låg, varför bröderna Enger sökte med ljus och lykta efter ett sätt att eliminera den mänskliga faktorn och samtidigt öka produktionen. Sökandet tog slut 1922, då de fick köpa in fyra tioställiga maskiner från den tyska konkurrenten Deutche Waffen- und Munitionsfabrik, DWM. Två av dessa maskiner installerades i fabriken i Åmotfors. Dessa två nya, moderna och automatiska Karlsruhe-maskinerna kom väl till pass när Norma anlätades för att tillverka 8 mm ammunition. Det var det norska företaget Raufoss som fått en enorm order från Turkiska staten. Ordern var på 40 miljoner patroner och därmed för stor för att Raufoss skulle klara den själv. Denna jätteorder upptog större delen av Åmotforsfabrikens kapacitet i drygt två år. Den gav inte bara en välbehövlig avkastning till ägarna utan också en ytterst nyttig kunskap till fabriken i övrigt.

Under 1930-talet drabbades världen av den stora depressionen, vilken slog hårt även mot Norma. Detta märks bland annat på att personalstyrkan, som då uppgick till 40 anställda, fick arbeta i skift för att hålla kostnaderna nere. Det började dock ljusna för företaget mot slutet av 1930-talet. Den ökande efterfrågan på 6,5 mm gevärsammunition, 9 mm pistolammunition samt jaktammunition gjorde att Norma fick anställa mer personal för att kunna tillgodose denna nya marknad. Det var också nu som Norma blev anlätade för att tillverka mässingshylsorna till Bofors berömda 40 mm luftvärnskanon.

När andra världskriget bröt ut fick bröderna Enger välja på att antingen börja samarbeta med sin största inhemska konkurrent, eller förlora fabriken till staten. Detta för att statsägda Svenska Metallverken inte klarade att producera så mycket ammunition som behövdes till armén. Som följd av detta, ökade antalet anställda på Norma från 150 till 600 på bara ett år. Det byggdes nya lokaler och nya maskiner ordnades av svenska staten.

Efter krigets slut 1945 hade företaget en överkapacitet vad gällde både produktion och personal. Dessutom var maskinerna framför allt anpassade för militär ammunition och slitna efter åtskilliga, utdragna arbetspass. De första efterkrigsåren fanns det fortfarande en viss marknad för militära kalibrar, men mot slutet av 1940-talet minskade den drastiskt. Det blev nu klart att det behövdes genomgripande förändringar, varför det beslutades att produktionen skulle styras mot den civila marknaden med tillverkning av jakt- och tävlingsammunition. Vid den här tiden utgjorde den civila ammunitionen endast 20 % av den totala produktionen. Det lades mycket arbete på att visa de civila skyttarna inom Skarpskytterörelsen att Norma var en partner att lita på. Alla dessa åtgärder stakade klart och tydligt ut vägen för Norma och fastställde därmed de tre huvudinriktningarna som företaget skulle komma att sikta in sig på. Det vill säga Skytte, Jakt och Militär.

Det blev efterhand mer och mer tydligt att det var mot Nordamerika Norma borde söka sig, då intresset för jakt och skytte alltid varit stort där. Redan 1953 visade det sig att det varit ett klokt beslut att rikta in sig på USA. Självaste Roy Weatherby kom resande till Norma för att sluta ett avtal om att få sina specialformade wildcathylsor serietillverkade av fabriken i Åmotfors. Detta besök slutade med att Norma tog på sig att tillverka Weatherbys hylsor, vilket bara något år senare ledde till att de även framställde laddade patroner i alla Weatherbys magnumkalibrar. Denna unika överenskommelse medförde också att

ballistikavdelningen på Norma blev djupt engagerade i utvecklingen av hylsor och laddningar till en stor del av de nya patronerna innan dessa lanserades på marknaden. Det anmärkningsvärda med denna överenskommelse är att den håller än i dag, trots att det inte finns något skriftligt avtal mellan de två parterna. Avtalet bygger helt och hållet på den ursprungliga muntliga överenskommelsen samt ett stort inbördes förtroende.

Normas enda svenska konkurrent var Svenska Metallverken, vars ansträngningar att efter kriget komma in på den civila marknaden inte varit någon succé. Dessa två företag påbörjade förhandlingar om en sammanslagning, dels för att minska den nationella konkurrensen dels för att bättre kunna dra nytta av de sammanslagne resurserna. Förhandlingarna ledde 1965 till att Svenska Metallverken köpte 50 % av aktierna i Norma Åmotfors.

Under de två första åren verkade denna sammanslagning fungera bra. Norma fick en rejäl ansiktslyftning, med bland annat nya inomhusskjutbanor, som ledde till att Norma 1967 var Europas modernaste ammunitionsfabrik. De följande åren försämrades dock Normas situation, mycket på grund av oenighet mellan nyckelpersoner från de två företagen. Problemen ledde till att Norma ännu en gång började leta efter ny samarbetspartner.

Efter en del misslyckade försök till samarbete med bland annat Remington och Förenade Fabriksverken, fick sökandet äntligen ett slut 1975, då en liten företagsgrupp vid namn Hasselfors Bruk köpte upp hela aktiekapitalet för Norma Åmotfors. Denna koalition varade dock endast i 4 år, under vilka Normas beslut var till belåtenhet. Bland annat kan nämnas att företaget 1978 blev utnämnd till Kunglig Hovleverantör. År 1979 sålde Hasselfors Bruk alla sina aktier i Norma till Förenade Fabriksverken. Denna allians fick ett antal lönsamma år innan den 1990 upplöstes, då Dynamit Nobel i Tyskland köpte samtliga aktier i Norma. Detta fick den naturliga konsekvensen att RWS, ett annat företag inom Dynamit Nobel och såväl en gammal konkurrent som en högt värderad kund, gjorde flera nya, stora beställningar hos Norma.

År 2002 köptes hela Dynamit Nobel, med Norma inkluderat, av RUAG som fortfarande i dagsläget är ägare till Norma. (1)

Normas historia är på intet sätt färdigskriven med detta. Det nu drygt hundraåriga företaget är fortfarande livskraftigt, tack vare de medarbetare som har arbetat, arbetar eller kommer att arbeta där.

Tillverkningen

Tillverkningen av Normas hylsor går i stort sett till på samma sätt, oavsett vilken kaliber det gäller. Utgångsmaterialet är en rondell, vars diameter och tjocklek beror på vilken kaliber som ska tillverkas. Denna rondell formas med ett drag till en kopp i en dragpress. När koppen glödgas formas den med ett antal dragpressoperationer, se bild 1. Mellan en del av dessa operationer mellanglödgas den blivande hylsan. Detta fortskrider tills de värden, vad gäller botten- och vägg tjocklek, som eftersträvas erhållits.



Bild 1: Bilden visar de steg i vilka en hylsa växer fram.

Hylsans längd justeras genom att den yttersta biten avlägsnas med hjälp av en skäroperation, varefter hylsan bottenpressas. Detta inkluderar pressning av tändhattsläge och text. Själva eldhålet stansas eller borrar ut. Övre delen av den blivande hylsan mjukglödgas, varefter hals och bröst formas genom stryppoperationer. Längden på hylsan justeras och mynningen fasas både in- och utvändigt, samtidigt som utdragarspåret svarvas. Efter tvättning och avfettning glödgas hals och bröst en sista gång för att rätt hårdhet ska uppnås. Som en sista åtgärd, för att ge hylsorna den rätta lyster, får hylsorna genomgå en behandling med en svag lösning av svavelsyra, varpå de rengörs och torkas. (1)

Genom hela produktionskedjan görs löpande kvalitetskontroller för att se till att hylsorna håller den höga standard som Norma står för.

Tryckmätning

För att mäta trycket som uppstår inuti en hylsa vid avfyrning använder Norma sig av två olika metoder. Det ena kallas piezomätning och utförs med en piezoelektrisk kristall. Den här typen av mätning går ut på att en piezoelektrisk kristall omvandlar mekanisk deformation till elektriska spänningar. Själva mätningen går till så att en piezoelektrisk kristall placeras i kontakt med hylsväggen i patronläget i en specialbyggd pipa. När sedan ett skott avfyras registrerar kristallen den mekaniska deformation som uppstår då hylsväggen pressas utåt av gastrycket och skickar signalen vidare till en dator. Namnet kommer av det grekiska ordet pieza, som betyder trycka eller pressa. Att vissa kristaller, till exempel kvarts, bariumtitanat, turmalin och seignettesalt kan användas som tryckmätare upptäcktes 1880 av bröderna Pierre och Jacques Curie.

Den andra metoden att mäta trycket inuti en hylsa kallas för koppartryck. Det går till så att patronen placeras i en specialpipa, som har ett hål över patronläget. I detta hål, mot hylsväggen, placeras en liten koppar-kopp som ska fungera dels som tätning, dels som perforeringsverktyg. Ovanpå koppar-koppen sätts en cylinder, och på den ställs en kopparkuts. Alltihop spänns fast genom att kopparkutsen skruvas fast mot cylindern. Vid avfyrningen pressas koppar-koppen genom hylsans vägg. Gastrycket gör då att cylindern tvingas uppåt och klämmer ihop kopparkutsen. Kutsen mäts, och längden omvandlas via tabell till ett tryck. Om trycket är för högt, tvingas tändhatten ut ur tändhattsläget och lossnar. När slutstycket då avlägsnas, ramlar tändhatten ur.

Dragpressning

Dragpressning innebär att materialet pressas genom en dyna av en stämpel. Utgångsmaterialet är vanligen en rondell av plåt. Denna rondell hålls fast mot dynan av tillhållaren, men inte med mer kraft än att materialet kan glida ner genom dynan. För det mesta är en pressning inte tillräckligt utan processen måste upprepas. Under en dragpressoperation förblir botten på den pressade detaljen i princip oförändrad vad gäller tjocklek. Detaljens väggar blir däremot tunnare ju mer produkten dras, se bild 2. (2)

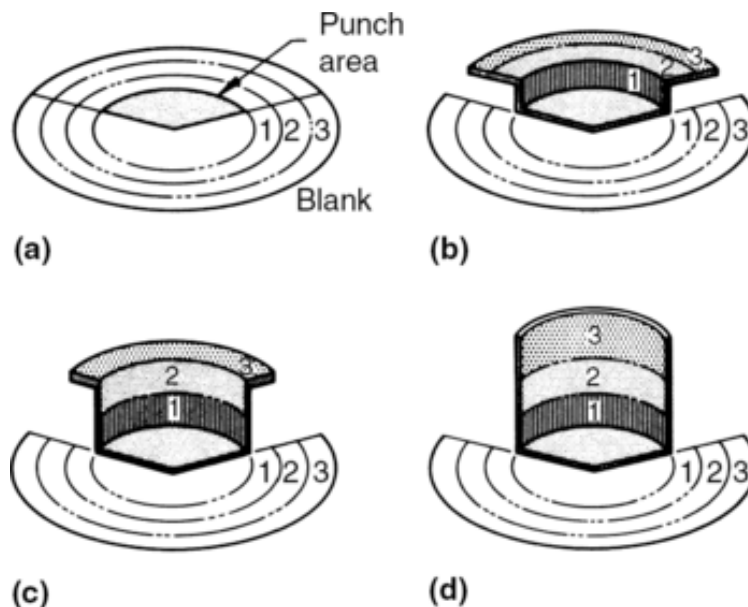


Bild 2: Hur materialet formas i ett steg. Botten är i princip oförändrad genom hela processen, medan väggen gradvis dras ut. Störst förtunnig erhålls i den övre delen av väggen. (2)

Materialets hårdhet ökar också som en följd av formförändringarna. Under dragpressningen utsätts materialet för ansenliga påfrestningar. Dess möjligheter till plastisk formning utnyttjas för det mesta till bristningsgränsen i någon del av detaljen. Det är därför essentiellt med noggranna förberedelser, under vilka alla faktorer som möjligtvis kan påverka resultatet beaktas. Det är annars lätt hänt att produkten blir veckad, brusten eller på något annat sätt defekt.

Material för dragpressning

Under en ideal dragpressoperation är den enda deformation som uppstår den som själva dragningen tillfogar, samt att tillhållarkraften är precis lagom för att materialet ska kunna flyta optimalt. Så är dock sällan fallet. Material som ska användas till dragpressning måste uppfylla en rad krav. Dessa är några av dem;

- Materialets formningsmotstånd måste vara lågt. Ju lägre detta motstånd är desto större formning är möjlig.
- Materialets formbarhet måste vara god. Detta för att stora formningar ska kunna göras utan att materialet behöver glödgas mellan operationerna. Koppar och kopparlegeringar har mycket god formbarhet, framför allt om materialet har mjukglödats.

- Materialets mekaniska egenskaper bör vara så likartade som möjligt i alla riktningar i plåten. Detta för att detaljen inte ska få störande så kallade öron eller läppbildning.
- Materialets kornstorlek bör vara så stor som möjligt utan att det för den skull blir så kallad apelsinyta på den färdiga detaljen. Detta för att materialets formbarhet ökar något med ökad kornstorlek, men det gör även graden av apelsinyta.
- Materialets ytfinhet bör vara god, även vid kanterna. Detta för att ytdefekter som till exempel repor kan medföra att materialet flyter ojämnt och orsaka onödig friktion vid pressningen.
- Materialets tjocklek får inte variera så mycket att det kan ge upphov till sneddragningar.

Både de mekaniska egenskaperna och materialets kornstorlek påverkas av hur det framställs och kräver speciella tillverkningsprogram för att bli optimala.

Möjliga defekter

Det finns ett stort antal saker som kan gå fel vid djuppressning. En del av dessa räknas upp nedan. (2)

- *Öron.* Uppstår då materialet är anisotropt, det vill säga har olika egenskaper i olika riktningar. Detta motverkas i praktiken genom att ämnet tillåts vara tillräckligt stort så att öronen kan tas bort från den färdiga detaljen.
- *Repor.* Uppstår då stämpeln, dynan eller båda inte har tillräcklig ytfinhet eller om smörjningen är bristfälligt.
- *Veckning.* Uppstår radiellt på grund av tryckkrafter i flänsen som hålls av tillhållaren. De kan dras ner i dynan och då också synas på detaljen.
- *Brott.* Uppstår på väggen nära botten på detaljen till följd av höga spänningar, som orsakar förtunning av väggen och slutligen går till brott.

Utrustning för dragpressning

Dragpressning utförs i regel i hydrauliska eller mekaniska dubbelverkande pressar. Plåthållarkraften i dubbelverkande pressar är betydligt jämnare under hela pressningsoperationen än i enkelverkande pressar.

Det går att med en enkel formel räkna ut en ungefärlig presskraft för cylindriska kroppar enligt följande (3);

$$P = d \cdot T \cdot R_m \left(\frac{D}{d} - k \right) \cdot \pi$$

Där

- P är presskraften
- d är detaljens diameter
- T är ursprungsrandens tjocklek
- R_m är brottgränsen
- D är ursprungsrandens diameter
- k är en konstant beroende av friktion och böckningskrafter, vanligen 0,6 – 0,7

De material som används till verktygen för dragpressning av koppar och kopparlegeringar är i stort sett samma som vid pressning av stål. Verktygen är för det mesta polerade och i många fall förkromade.

Teknik vid dragpressning

Det finns ett flertal faktorer som är av stor betydelse för resultatet av dragpressningen och som därför bör uppmärksammas.

Ämnesdimension

Dimensionen på utgångsmaterialet bör inte vara större än vad den färdiga detaljen fordrar. Ett överdimensionerat utgångsämne kräver onödigt stora presskrafter, har lättare för att falla samt ger större skrotfall.

För tillverkning av kvadratiska och rektangulära former används vanligtvis kvadratiska respektive rektangulära utgångsmaterial, oftast med hörnen bortkapade. Materialåtgången för denna typ av tillverkning beräknas under antagande att ämnets och den färdiga detaljens ytor ska vara lika stora.

Formändring per pressning

Formändringen anges ofta som förhållandet mellan diametrarna hos ämne och färdigpressad detalj. Vid formning med flera dragpressoperationer anges formändringen med förhållandet mellan detaljens diameter före och efter respektive pressning.

Om alltför stora dragförhållanden används, blir dragkraften som krävs så stor att materialet fallerar. Vad som räknas som lämpligt dragförhållande beror framför allt på materialets egenskaper samt tjockleken på ämnet eller detaljen. Givetvis finns fler faktorer som kan påverka dragförhållandet, till exempel vilken form detaljen ska få. Detta gör det svårt att ange ett rättvisande värde på lämpligt dragförhållande.

Inverkan av materialegenskaper

Lämpligt dragförhållande avtar om en detalj pressas flera gånger utan mellanglödning. Detta beror på den hårdhetsökning som sker. Det innebär att den totala reduktionen inte bör delas upp i lika stora pressningar.

För djuppressning ökar trycket på stämpel och dyna proportionellt med kvadraten av materialtjockleken. Om tjockleken är liten i förhållande till diametern är risken för veck betydligt större. För att motverka detta krävs ett högre tillhållartryck. Tjockare gods har mindre tendenser att bilda veck än tunna. Detta medför att tillhållarkraften inte alls behöver vara högre för att materialet är tjockare. Det kan tvärt om rent av vara lägre. (2)

Inverkan av tjocklek

Som tidigare nämnts påverkas dragförhållandet av materialtjockleken. Om tjockleken är liten i förhållande till diametern ökar risken för veckning och tillhållartrycket måste justeras för att motverka detta. Det medför i sin tur större påkänningar i materialet, vilket resulterar i ett lägre dragförhållande.

Dynkantradie och stämpelkantradie

Vid tillverkning av stämpel och dyna måste radierna beaktas. Detta för att alltför små radier lätt kan medföra att detaljen fallerar, samtidigt som en för stor dynkantradie gör så att materialet styrs dåligt och kan medföra rynkning.

Lämplig dynkantradie ligger mellan

$$20 \cdot T \quad \text{för } T = 0,125$$

$$5 \cdot T \quad \text{för } T = 3$$

där T är materialtjockleken i mm.

En djup detalj kräver dock större radie än en grund. Minsta stämpeldynsradie bör inte understiga 1,5 mm och ligger lämpligen kring fyra till tio gånger tjockleken.

Dragspalt

Godstjockleken i den del av detaljen som inte dragits ner i dynan ökar ju mer material som dras ner. För att det inte ska bli alltför höga spänningar i materialen när det väl dras måste dragspalten vara större än ämnets ursprungs tjocklek. För det mesta används en metod som ger en mindre tjockleksminskning, så kallad *ironing*. Det är ett sätt att öka detaljens längd genom att minska den yttre diametern och väggstjockleken, men hålla den inre diametern oförändrad.

Tillhållarkraft

Vid djuppressning är det viktigt att fastställa tillhållarkraften så att den blir rätt. Den får inte vara för låg, eftersom detaljen då riskerar att veckas, men den får inte heller vara för hög, eftersom den då hindrar materialet att flyta ner i dynan. För att avgöra vad som är en bra tillhållarkraft måste plåttjockleken, materialegenskaperna, dragförhållandet samt smörjmedel beaktas. Ju större hållfasthet och dragförhållande, desto större tillhållarkraft krävs. En mindre ämnestjocklek minskar dock kraften. Ett riktigt bra smörjmedel gör det möjligt att använda en större kraft. Om ämnen med liten tjocklek ska användas är det av yttersta vikt att bestämma tillhållarkraften rätt. Det är dock enklast att komma fram till rätt tillhållarkraft genom försök.

Presshastighet

Hastigheten med vilken detaljen pressas har en, om än liten, inverkan på formbarheten. Eftersom friktionen mellan stämpel, ämne och dyna minskar med ökad hastighet, kan

formbarheten bli något bättre. En lägre hastighet medför dock en homogenare deformation vilket kan uppväga att det tar lite längre tid. Detta gäller framförallt vid stora, djupa detaljer.

Smörjmedel

Vanligtvis måste någon form av smörjmedel användas vid dragpressning. Egenskaperna för detta smörjmedel kan ha stor inverkan på den färdiga detaljen. Ett bra smörjmedel medför att tillhållarkraften kan ökas, vilket i sin tur gör att risken för veckbildning minskar. Smörjmedlet bör väljas beroende på vad som ska pressas. Till exempel krävs ett mer trögflytande smörjmedel för dragpressning med stort dragförhållande, små kantradier på dyna och stämpel och tjock plåt jämfört med en tunnare plåt. Dessutom bör medlet inte angripa materialet på något sätt och vara lätt att ta bort efter pressningen. Även smörjmedel väljs, precis som tillhållarkraften, lämpligen genom försök.

Mellanglödning

Det är vanligt att en detalj måste mellanglödgas innan den kan få sin slutgiltiga form. Vid glödningen är det viktigt att ta hänsyn till materialets egenskaper. För höga temperaturer eller för långa tider ger en grovkorning struktur, som kan orsaka att apelsinyta framträder vid efterföljande formning. För mässing gäller dessutom att glödning vid för hög temperatur medför bildning av den mer svårbehandlade β -fasen i strukturen. Efter glödning är det ytterst viktigt att beta detaljen, för att all oxid och missfärgning ska försvinna. Detta för att formbarheten annars kan vara nedsatt i eventuella efterföljande operationer.

Betning är ett sätt för att avlägsna den hinna av oxid som bildas på alla metaller under bearbetning. Det går till på så sätt att metallen som ska betas läggs i ett så kallat betbad, som är antingen sur eller basisk. Sammansättningen, temperaturen och pH-värdet för betbadet, bestäms utifrån både oxidens och metallens natur. För att förebygga att betningen angriper själva metallen, tillsätts ämnen som hämmar eller förhindrar kemiska reaktioner, så kallade inhibitorer, till lösningen.

Allmänt om koppar och kopparlegeringar

Koppar är den metall som människan använt sig av längst. Koppar har brutits i mer än 10 000 år – det finns arkeologiska fynd i nuvarande Irak som visar på koppargruvor från 8700 f.kr. Vid 5000 f.kr. kunde koppar framställas från kopparoxider.

Koppar kan hittas som ren metall och som mineral i bland annat kuprit, malakit, bornit och azurit. Här i norden är dock kopparkiset det enda betydelsefulla kopparmineralet. Koppar fås dessutom ofta som en biprodukt vid silverframställning.

Koppar och kopparlegeringar är bland de viktigaste mångsidiga tekniska materialen som finns. Egenskaper som till exempel hållfasthet, ledningsförmåga, korrosionsresistans, bearbetbarhet och duktilitet gör koppar till ett lämpligt material till en mängd olika användningsområden. Materialegenskaperna kan förbättras ytterligare genom att manipulera sammansättningen och ändra tillverkningsmetoderna.

Koppar och dess legeringar kan användas i sällsamt många olika sammanhang. Det finns ungefär 370 kommersiella kopparlegeringar. Som exempel kan nämnas arkitekturiska användningar, köksredskap, elektriska ledningar, värmeväxlare och VVS-system. Den absolut vanligaste kopparlegeringen är den som finns i vattenledningar. (4)

Framställning av koppar

Ungefär 80 % av all världens nybrutna koppar framställs ur sulfidhaltiga malmer, som till exempel kopparkis. Malmen krossas till ett finkornigt pulver som anrikas till slig genom flotation. Sligen, som innehåller 20 – 30 % koppar, korroderas för att få svavelhalten att minska, varefter den smälts tillsammans med slaggbildare, till exempel sand. Själva smältan består av slagg och så kallad skärsten, som är en flytande blandning av koppar- och järnsulfid. Efter att flussmedel tillsats smältan, blåses luft igenom den i en konverter för att få järnsulfiden att oxidera. Efter den första blåsningsoperationen fås kopparrisk slagg och så kallad vitmetall, Cu_2S . Slaggen går i retur till smältugnen. Vitmetallen fortsätter med hjälp av blåsning att oxidera och omvandlas så småningom till blisterkoppar, eller råkoppar. Blisterkoppar har fått sitt namn från engelskans *blister* som ju betyder blåsa. Detta för att om smältan tillåts att stelna i detta skede kommer produkten att vara full av blåsor, eftersom smältan är så gasrik. Råkopparn innehåller en hel del kopparoxid, vilken genom så kallad polning med ammoniak minskas till önskad nivå. Polning innebär att smältan blir genomblåst med ammoniakgas. Den stora gasutvecklingen som då uppstår ger en omrörning i smältan, varigenom syrehalten minskar. Efter detta gjuts smältan till anodkoppar som har en kopparhalt på 99,7 – 99,9 %. Denna produkt kan användas i tillämpningar där kravet på renhet inte är så stort. Största delen av plåtarna renas dock ett steg till, elektrolytiskt. Slutprodukten efter den andra raffineringen kallas för katodkoppar, eller elektrolytkoppar. Den har en renhet på 99,95 – 99,99 %. Det är denna koppar som i dagsläget är den vanligaste handelsformen för ren koppar. (5)

Struktur

Koppar har en FCC-struktur. Färgen är vackert gul-röd och kan poleras upp till en häpnadsväckande glans.

Återvinning

Koppar och dess legeringar är högst lämpade för återvinning. Ungefär 40 % av den årliga kopparkonsumtionen kommer från återvunnen koppar. Det är dessutom så att ungefär 80 % av all den koppar som brutits sedan bronsåldern fortfarande används, tack vare återvinning. (6)

Egenskaper

Koppar är ett segt, duktilt och formbart material. Dessa materialegenskaper gör koppar utomordentligt användbart för wiretillverkning, rör och djupdragning. Andra viktiga egenskaper för koppar är ypperlig ledningsförmåga både för elektricitet och värme, god korrosionsresistens och god formbarhet.

Elektrisk ledningsförmåga

Av alla kända grundämnen har koppar den näst högsta elektriska konduktiviteten. Det är endast silver som har bättre ledningsförmåga, men koppar kommer som en god tvåa med hela 97 % av silvrets ledningsförmåga. Eftersom koppar är betydligt billigare, och dessutom lättare att få tag i, används som regel koppar i elektriska tillämpningar. På grund av vikten används dock aluminium ofta till hängande högspänningsledningar. Räknat efter vikten är ledningsförmågan för aluminium ungefär två gånger så stor som den för koppar. Ledningar av aluminium måste dock förstärkas med antingen en aluminiumpläterad eller en galvaniserad stålwire vid varje stolpe. (4)

Korrosionsresistens

Alla kopparlegeringar motstår korrosion av vatten eller vattenånga. I de flesta lantliga, marina och industriella miljöer har koppar och kopparlegeringar en god korrosionsresistens. De är resistenta mot salthaltiga lösningar, icke-oxiderande mineraler, organiska syror och frätande lösningar. Ammoniak, halogener, sulfater, lösningar innehållande ammoniakjoner och oxiderande syror, som till exempel salpetersyra, korroderar dock koppar. Likaså oorganiska syror.

Anledningen till kopparens goda korrosionsbeständighet är den vidhäftande hinna som bildas på ytan av föremålet. Detta tunna skikt är relativt ogenomträngligt för korrosion och därför skyddar det mot ytterligare korrosion.

Ytoxidering av koppar

De flesta kopparlegeringar utvecklar en blå-grön patina, så kallad ärg, då de utsätts för väder och vind. En del ärgade legeringar övergår så småningom till brun-svart färg. Det går dock att lacka föremålet för att förhindra ärgning.

Sträckgräns

Sträckgränsen för kopparlegeringar är inte ordentligt definierad. På grund av detta brukar den antas uppstå vid en förlängning på 0,5 %. Vanligast är att sträckgränsen för den 0,5-procentiga förlängningen för anlöpta material blir ungefär en tredjedel av brottgränsen. Sträckgränsen för en hård-härdad kopparlegering är ungefär två tredjedelar av materialets brottgräns.

Varm- och kallbearbetning

Trots att koppar och kopparlegeringar har förmågan att deformationshärddas, kan de bearbetas i både kallt och varmt tillstånd. Härdning genom kallbearbetning, eller deformationshärdning, innebär att materialets duktilitet sjunker och att sträckgränsen går mot brottgränsen. Duktiliteten kan återställas genom värmebehandlingar. Detta kan ske genom särskilda värmebehandlingsoperationer, eller mer eller mindre oavsiktligt genom svetsning eller hårdlödning.

Vid kallbearbetning uppkommer spänningar i materialet. Om materialet utsätts för stora inre dragspänningar kan det leda till självsprickning, eller så kallat season-cracking, om det utsätts för korrosionsangrepp av ammoniak, kvicksilver eller motsvarande salter. Angreppen sker mestadels i korngränserna och det är alltså där som sprickorna kommer att synas. Även mycket små halter av ammoniak kan förorsaka självsprickning. Denna benägenhet, som minskar med ökad kopparhalt och minskad godstjocklek, går dock att i stort sett helt eliminera genom att anlöpa mässingen vid cirka 300° C. För mässing med minst 85 % koppar är tendensen till självsprickning i stort sett obefintlig. (7)

Härdningsgrader

Koppar och dess legeringar kan vara specificerade med hänsyn till dess olika härdningsgrader, som fås genom kallbearbetning och efterföljande glödning.

Sammanfogning

Vanliga metoder att foga samman material, så som hårdlödning, svetsning och lödning kan användas på de flesta kopparlegeringar. Givetvis kan också rent mekaniska sammanfogningssätt som nitar och skruvar användas.

Klassificering

Det finns ett flertal system för klassificering av koppar och kopparlegeringar. I Europa används ett system med sex tecken, se tabell 1. Första tecknet är en bokstav. För kopparbaserade material är det C. Andra tecknet visar vad materialet är, enligt följande: (7)

- B – tackor för omgjutning för tillverkning av gjutna produkter.
- C – för gjutna produkter.
- F – utfyllnad till svetsning och hårdlödning.
- M – huvudlegeringar.

- R – förfinad koppar för smide.
- S – spillbitar.
- W – smidesprodukter.
- X – icke standardiserade produkter.

Sen kommer ett tresiffrigt tal mellan 001 och 999. Som sista tecken kommer en bokstav som visar vilken gruppering materialet tillhör.

Tabell 1: Det europeiska klassificeringssystemet av koppar och dess legeringar.

Sifferkombination	Grupperingsbokstav	Material
001 - 099	A eller B	Koppar
100 – 199	C eller D	Kopparlegeringar, ≥ 95 % Cu
200 – 299	E eller F	Kopparlegeringar, < 95 % Cu
300 – 349	G	CuAl-legeringar
350 – 399	H	CuNi-legeringar
400 – 449	J	CuNiZn-legeringar
450 – 499	K	CuSn-legeringar
500 – 599	L eller M	CuZn-legeringar, binära
600 – 699	N eller P	CuZnPb legeringar
700 – 799	R eller S	CuZn-legeringar, komplexa

Detta europeiska system är en vidareutveckling av det klassificeringssystem som utvecklats av den amerikanska koppar och mässingsindustrin, se tabell 2. Det ursprungliga amerikanska systemet bestod av en bokstav följt av fem siffror.

Tabell 2: Det amerikanska klassificeringssystemet av koppar och dess legeringar.

UNS nummer	Användningsområde	Legeringsnamn
C10000 – C19999	Smide	Koppar, höghaltiga legeringar
C20000 – C49999	Smide	Mässing
C50000 – C59999	Smide	Fosfor bronser
C60600 – C64200	Smide	Aluminium bronser
C66400 – C69800	Smide	Mässing
C70000 – C79999	Smide	Kopparnickel, nickelsilver
C80000 – 82800	Gjutning	Koppar, höghaltiga legeringar
C83330 – C85800	Gjutning	Mässing
C86100 – C86800	Gjutning	Magnesiumbronser
C87200 – C87900	Gjutning	Kiselbronser, mässing
C90200 – C94800	Gjutning	Tennbronser
C95200 – C95800	Gjutning	Aluminiumbronser
C96200 – C97800	Gjutning	Kopparnickel, Nickelsilver
C98200 – C98800	Gjutning	Blyhaltig koppar
C99300 – C99750	Gjutning	Speciallegeringar

Indelning av koppar och dess legeringar

Inom smides- och gjutningsklasserna kan sammansättningarna delas in i följande kategorier:

- Ren koppar
- Höghaltiga kopparlegeringar
- Mässing
- Bronser

Ren koppar

De material som får kallas ren koppar ska bestå av minst 99,3 % Cu.

Höghaltiga kopparlegeringar

Legeringar som kallas för höghaltiga kopparlegeringar ska bestå av mindre än 99,3 % Cu men mer än 95 %. Om kopparhalten är högre än 99,3 % räknas materialet som ren koppar.

Höghaltiga kopparlegeringar som ska användas till gjutning ska ha en kopparhalt på över 94 %. Silver kan tillsättas för att ge särskilda egenskaper.

Mässing

Mässing har zink som största legeringsämne. Zinkhalten ligger för det mesta mellan 5 och 45 viktprocent. Andra ämnen, till exempel järn, aluminium, nickel och kisel, kan tillsättas för att ge fördelaktiga egenskaper. Genom att tillsätta olika legeringsämnen och variera koppar- och zinkhalten kan materialet dessutom anpassas till en mängd olika användningsområden. Enbart den guldknada färgen gör mässingen till ett eftertraktat material till ett flertal applikationer.

Mässing kännetecknas genom dess goda bearbetbarhet, utifrån vilken standarder sätts för andra metaller. Materialet kan också ha god korrosionsresistens och hög draghållfasthet. En del mässing är lämpligt för varmsmide.

Mässing är ett lämpligt material för både gjutning och plåtarbete och industriellt viktiga användningsområden har utvecklats. Till en början tillverkades mässing genom att koppar smältes med zinkspat, även kallat galmeja, och kol. Mässing användes mycket till både bruks- och prydnadsföremål på grund av att materialets har en tilltalande guldknada färg, samt att det är så lätt att bearbeta. De största fördelarna med mässing jämfört med ren koppar är de bättre bearbetningsegenskaperna, högre hållfasthet samt det betydligt lägre priset.

Mässingens struktur

Mässing förekommer i två strukturtyper, α -mässing respektive β -mässing. α -mässing har fcc-struktur, det vill säga *face centered cubic*, eller så kallad ytcentrerad kubisk struktur. β -mässing har bcc-struktur, vilket står för *body centered cubic*, eller så kallad rymdcentrerad kubisk struktur. Dessa olika kristallstrukturer ger materialet olika egenskaper.

Kännetecknande för α -mässing är den goda kallformbarheten och den låga zinkhalten, som har ett maximum på 38 %. α -mässing används för tillverkning av till exempel kontaktdon i elektroniska apparaturer, prydnadsföremål och ammunitionshylsor.

β -mässing karakteriseras av att zinkhalten är hög, ca 37 – 56 %, och att den har mycket god formbarhet vid förhöjd temperatur. Denna typ av mässing används till bland annat VVS-detaljer.

Det finns även en struktur som innehåller både α - och β -mässing. Denna kallas för (α + β)-mässing och dess egenskaper ligger mitt emellan α - och β -mässing vad gäller det mesta.

Mässingens egenskaper

När mässing ska användas, måste hänsyn tas till två för mässingen speciella egenskaper. Dessa två är avzinkning och självsprickning. Självsprickning, eller spänningskorrosion som det också kallas, är en typ av korrosion som uppstår då materialet utsatts för töjning, till exempel genom dragpressoperationer. Korrosionen kan leda till sprickor och brott. Avzinkning innebär att material med lägre kopparhalt under särskilt svåra korrosionsförhållanden kan korrodera på så sätt att zinken i legeringen löses upp. Detta medför att det som blir kvar är en porös kopparmassa utan någon betydande hållfasthet. Mässing med hög kopparhalt är jämförbar med ren koppar när det gäller korrosionsmotstånd. (7)

Det finns mängder av olika mässingskvaliteter där materialegenskaperna mestadels beror på procentfördelningen mellan koppar och zink. Vid låg zinkhalt får mässingen en röd ton, ökande zinkhalt ger en allt gulare ton.

Mässing har avsevärt bättre hållfasthetsegenskaper än ren koppar. Det är inga problem att kallbearbeta mässing med kopparhalter på över cirka 62 %, lägre kopparhalt medför sämre förutsättningar för kallbearbetning. Mässing med högre kopparhalt har desto bättre formbarhet i varmt tillstånd, till och med bättre än ren koppar.

De flesta mässingskvaliteter har gemensamt att de huvudsakligen består av koppar och zink. Det finns dock även mässing där någon eller några andra legeringsämnen tillsats. Olika tillsatser ger mässingen olika egenskaper. Till exempel kan fosfor, tenn, aluminium, järn, nickel, mangan, bly eller till och med arsenik tillsättas för att öka korrosionshårdighet och hållfasthet hos α -mässing. Bly tillsätts till både α -mässing och β -mässing för att öka skärbarheten. För det mesta är emellertid formbarheten i kallt tillstånd och ibland även löd- och svetsbarheten betydligt sämre för dessa än för en ren CuZn-mässing. Varmbearbetbarheten är dock god.

Skärbarhet

Den absolut största delen av mässing används till produkter där skärbarheten är av yttersta vikt. Tillsatser av ett mjukt ämne, som kan lägga sig som små, separata spånbrutande partiklar i strukturen, gör skärbarheten betydligt bättre. Det vanligaste legeringsämnet för detta är bly, som har ypperligt bra smörjande och spånbrutande effekt. Detta har gjort att material för skärande bearbetning alltid jämförs med mässing, där mässing representerar 100 % skärbarhet. (4)

Mässing utan tillsatser

Som tidigare nämnts kalls mässing med zinkhalter upp till ca 38 % för α -mässing. Denna legeringsgrupp är utomordentligt bra för kallbearbetning. Här finns också de vanligaste legeringarna lämpade för formning med olika djuppressningsmetoder. Hållfastheten för α -mässing ökar med ökande zinkhalt.

Det är denna hållfasthetsökning som gör att mässing används i större utsträckning än koppar. Men det finns givetvis även andra skäl till att välja mässing med olika zinkhalter. Detta gäller speciellt korrosionsbeständigheten, färgen och i vissa avseenden formbarheten. Om materialets zinkhalt ökar, ökar även korrosionsbeständigheten mot erosionskorrosion medan hårdigheten mot avzinknings- och spänningsskorrosion minskar. Dessutom går färgen från rött till gult. Formbarheten är mycket god för all α -mässing, men det finns ett svagt maxima vid en zinkhalt på 30 - 35 %.

Vid zinkhalter över ca 39 % börjar ytterligare en materialfas framträda, β -fasen. I intervallet 38 - 45 % zink finns en blandning av dessa två faser, ($\alpha+\beta$)-fas, där andelen β -fas ökar med ökande zinkhalt. Vid zinkhalter som överskrider 45 % består strukturen enbart av β -fas. Denna β -fas har en utomordentligt god formbarhet i varmt tillstånd, men är desto svårare att kallbearbeta. När β -fasen börjar framträda minskar duktiliteten men hållfastheten ökar.

Som framgår av fasdiagrammet förskjuts området med blandningen av dessa två faser mot lägre zinkhalter med ökande temperatur, se bild 3. Detta är till stor hjälp vid varmbearbetning av legeringar som ligger inom detta område. (6)

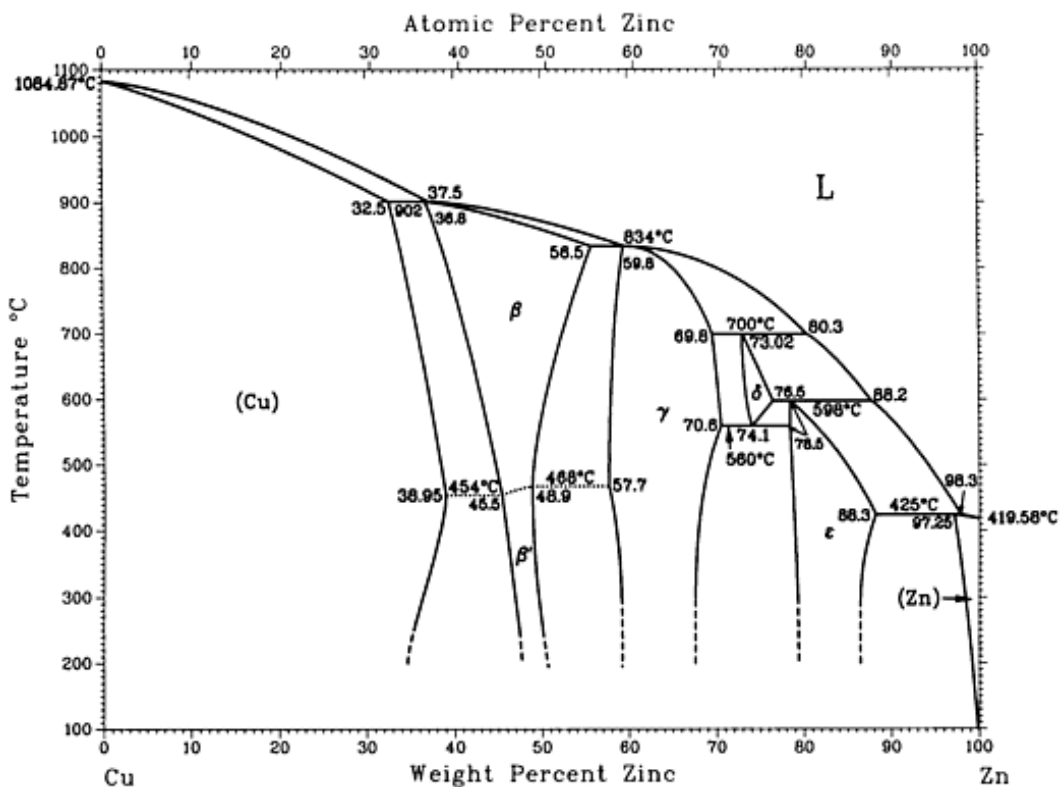


Bild 3: Fasdiagram för CuZn-mässing. (8)

Då zink är billigare än koppar minskar materialkostnaderna med ökande zinkhalt. De vanligaste α -mässingarna är CuZn15, CuZn30 och CuZn36 med 15, 30 respektive 36 % zink.

Mässing med tillsatser

Tillsättning av bly kan resultera i en mässing med förmågan att maskinbearbetas snabbt. Inblandning av aluminium, järn och magnesium ökar styrkan. Kisel ökar nötningsbeständigheten. Tillsatser av järn och aluminium ger till exempel bättre hållfasthet och nötningsbeständighet, medan kombinationen av aluminium och arsenik förbättrar korrosionsresistensen. Det vanligaste legeringsämnet till mässing är dock bly, som oavsett vilka andra ämnen som är med i legeringen ger en mycket förbättrad skärbarhet och därigenom minskar verktygsslitage.

Blyhaltig mässing

Skärande bearbetning av ren α -mässing ger långa och sega spån. Jämförelsevis är $(\alpha+\beta)$ -mässing i detta avseende betydligt lättare att arbeta med, tack vare den sprödare och hårdare β -fasen. Skärbarheten kan ytterligare förbättras genom tillsats av bly. Detta för att blyet inte är lösligt, utan lägger sig som små smörjande och spånbrytande partiklar i strukturen. Legeringen CuZn39Pb3 är den vanligaste blyhaltiga $(\alpha+\beta)$ -mässing. Denna metall är den överlägset bästa av alla metalliska material vad gäller skärbarhet och det också är den som sätter standarden för all skärbarhet för metaller.

Specialmässing

I synnerhet korrosionsbeständighet och hållfasthet kan förbättras genom tillsättning av olika legeringsämnen. Detta har lett till att ett stort antal specialmässingar med mycket specifika egenskaper tagits fram.

Tillsats av mangan, aluminium och järn ökar hållfastheten och är därför vanliga legeringsämnen i de mest hållfasta mässingar som finns på dagens marknad. Dessa ämnen bättrar dessutom på nötningsbeständigheten. Det finns även några synnerligen nötningsbeständiga mässingar som också har kisel som legeringsämne.

Tenn, aluminium och arsenik förhöjer korrosionsresistensen. Aluminium förbättrar hårdigheten mot erosionskorrosion. Arsenik, antimon och i viss grad fosfor kan göra så att α -mässing blir resistent mot avzinkning.

Mässing med aluminium kan ges formminne, det vill säga att detaljen kan byta form mellan två olika temperaturer.

Specialmässingens olika legeringsämnen är normalt lösliga i både α - och β -faserna. Tillsatsämnena påverkar för det mesta mängdrelationerna mellan faserna, så att β -fasen uppstår vid lägre zinkhalter än vad som visas i fasdiagrammet i bild 2 ovan.

En säregen typ av specialmässing är nickelmässing. Denna mässing har fått benämningen nysilver tack vare sin silverliknande färg, som också gjort att legeringen bland annat ersatt silver som basmetall i till exempel bestick. Den viktigaste användningen har metallen dock på grund av dess goda korrosionsbeständighet och hållfasthet, vilket bland annat lett till att den ofta används som kontaktfjädrar. (6)

Indelning av mässing

Mässing kan indelas i två klasser och tre respektive fyra familjer på det sätt som visas nedan.
(4)

Klasser

- α -legeringar, med mindre än 37 % Zn. Dessa legeringar är duktila och har mycket god kallbearbetbarhet.
- $(\alpha+\beta)$ -legeringar har 37 - 45 % Zn. Dessa legeringar har begränsad duktilitet i kallt tillstånd och är för det mesta både hårdare och starkare än α -mässing.

Familjer

Mässing för smide kan delas in i tre familjer;

- CuZn-legeringar
- CuZnPb-legeringar
- CuZnSn-legeringar

Mässing för gjutning kan delas in i fyra familjer;

- CuSnZn-legeringar
- Mn-bronser och PbMn-bronser
- CuZnSi-legeringar
- CuBi- och CuBiSe-legeringar för gjutning

Kristallografi

Det finns två huvudgrupper inom de tekniskt intressanta materialen. Dessa två är de kristallina och de amorfa. Metaller hör till de kristallina materialen. Till de amorfa räknas glas och många plaster. Många tekniskt intressanta materialegenskaper avgörs redan på denna mikronivå i och med att positionerna atomerna sinsemellan fastställs. De kristallina materialen består av ett repeterat tredimensionellt mönster, så kallade kristaller. I det amorfa materialet saknas däremot symmetri. De amorfa materialen har därmed stora likheter med trögflytande vätskor.

De flesta metalliska material bildar kristaller i enkla strukturer. Vid rumstemperatur visar ungefär 70 % av de metalliska materialen kubisk eller hexagonal tätpackning och omkring 25 % förekommer i kubiskt rymdcentrerad struktur. (5)

FCC – Kubiskt ytcentrerad. Koppar och Aluminium

BCC – Kubiskt rymdcentrerad. Järn och krom.

HCP – Hexagonalt tätpackad. Zink och titan.

Störningar i kristallgittret

Rena grundämnen har ytterst begränsat användningsområde. Det är först när olika sorters störningar introducerats i kristallstrukturen som tekniskt intressanta egenskaper uppnås. Egentligen är det de små mekaniska spänningarna som dessa störningar orsakar i gittret, som ger dessa egenskapsförändringar. Vissa av dessa störningar finns naturligt i materialen. Till exempel vakanser, som innebär att det saknas en atom i kristallgittret. Den obesatta platsen kan givetvis upptas av en av sina grannatomer, men detta innebär i praktiken bara att den lediga platsen flyttas ett steg. Dessa vakanser kan skapas från kristallytan och har en viss dragningskraft på varandra. På sikt innebär detta att vakanserna kan vara orsak till sprickor, då de genom koncentration kan skapa större defekter i materialet.

En atom ur kristallgittret kan också lämna sin vanliga plats och istället inta ett så kallat interstitiälläge. Detta innebär att atomen klämmer in sig mellan de ordinarie atomerna i gittret. Hur många vakanser det finns i ett material är beroende på temperaturen, då antalet ökar med stigande temperatur.

Det förekommer främmande atomer i alla tekniska material. Dessa återfinns antingen som legeringselement eller som föroreningar. Det finns egentligen endast två sätt för dessa atomer att välja plats i gittret. De kan antingen ta en ordinarie atoms plats, eller ockupera ett tomrum. Vanligtvis är det små atomer, det vill säga de med liten radie, som intar interstitiällägen.

Ett undantag som är värt att nämna är dock material som utsatts för radioaktiv strålning. Då ett material utsätts för radioaktiv strålning tränger synnerligen energirika partiklar in i kristallstrukturen, utan hänsyn till gitterplatser. De här energirika partiklarna orsakar kraftiga störningar, vilket i sin tur medför att dessa material ständigt är i förändring.

En av naturen själv skapad defekt är dislokationer. Enkelt uttryckt är dessa ett atomplan som avslutas mitt inne i kristallstrukturen. Dislokationer visar sig ofta i slutna slingor. Beroende på var i materialet dessa dislokationer påträffas, kallas de för kant- eller skruvdislokationer.

Metalliska material innehåller i allmänhet ett stort antal dislokationer. De finns i alla riktningar i strukturen och så länge som materialet inte deformeras är de passiva.

Dislokationer innebär lokala spänningskoncentrationer, precis som flertalet av de andra materialdefekterna. Det uppstår tryckspänningar på dislokationens översida och

dragspänningar på undersidan. På grund av dessa spänningar ökar utrymmet i interstitiällägena, då kristallen töjs ut på undersidan av dislokationen. Detta innebär att området under dislokationen blir särskilt lockande för små, lättroliga atomer.

Om ett material utsätts för tryck- eller dragkrafter uppstår det skjuvspänningar i kristallstrukturen. Blir denna skjuvspänning tillräckligt hög börjar dislokationerna stegvis byta atomplan genom den elastiska deformationen och på så sätt förflytta sig en sträcka motsvarande ett atomavstånd. Under förutsättning att det inte finns några hinder som stoppar dislokationerna samt att skjuvspänningen kvarstår, kommer dislokationerna att röra sig genom hela kristallen. I så fall sker en permanent förändring, det vill säga kristallen har plasticerats. Om det uppstår stora spänningar som skapar plastisk deformation i kristallen, så sker denna genom en tillväxt av antalet dislokationer genom så kallade dislokationsgeneratorer.

Materialens kristallstruktur utsätts för tryck- eller dragspänningar oavsett vilken typ av defekt som den har. Deformationsegenskaperna för olika material beror till stor del på hur pass rörliga de spänningsfält som omger dess dislokationer är, i samverkan med de spänningsfält som andra defekter inducerar. För att expandera ett materials elastiska område måste dislokationsrörelserna hindras.

Härdningsmekanismer

De rena metallerna spelar en betydelslös roll som konstruktionsmaterial, då de har låga hållfasthetsegenskaper. De tekniskt intressanta egenskaperna kommer fram först när materialens struktur har blivit manipulerad på något sätt. Det är främst genom att hitta ett sätt att kontrollera dislokationernas rörelser som ett materials mekaniska egenskaper går att förbättra. Framför allt genom att hindra dislokationsrörelserna kan sträckgräns och hårdhetsvärden påverkas väsentligt.

Lösningshärdning

Genom att införa främmande atomer i kristallgittret hos en metall skapas spänningar. Dessa spänningar skapar i sin tur hinder för dislokationsrörelserna. De främmande atomerna kan ta platser som är både interstitiella och substitutionella. Interstitiell innebär att atomerna klämmer sig in mellan de ordinarie atomerna i gittret, substitutionell betyder att den främmande atomen tar en av de ordinarie atomernas plats i gittret.

Storleken på hindren för dislokationerna beror på vilka spänningar i gittret som de främmande atomerna förorsakar.

Deformationshärdning

Hållfasthetsegenskaperna hos ett material kan förbättras genom att låta dislokationerna utgöra hinder för varandra. Detta uppnås med hjälp av att plastiskt deformera ett material, det vill säga genom att utsätta kristallen för stora spänningar som tvingar dislokationerna att röra sig längs sina glidplan.

Det blir inga spår av dislokationsrörelser. Det är först när olika dislokationer skär varandras väg eller överkommer något annat hinder, som mikroskopiska spänningsrester uppkommer. Det är dessa minimala spänningskoncentrationer som så småningom utgör hinder för de efterföljande dislokationerna.

Dislokationstätheten är låg för metaller i mjukglödlat tillstånd, den ligger runt 10^7 dislokationer per cm^2 . Genom så kallade dislokationsgeneratorer skapas nya dislokationer vid kalldeformation av materialet. I kraftigt kalldeformerade material kan dislokationstätheten uppgå till så mycket som 10^{13} dislokationer per cm^2 . (5) Denna höga dislokationstäthet kan minskas genom glödning, varvid materialet återgår till sitt ursprungliga mjukare tillstånd.

Korngränshärdning

Finkornigt material har betydligt bättre hållfasthetsegenskaper än grovkornigt. Också här är den bakomliggande orsaken dislokationsrörelserna. Alla material uppvisar en karaktäristisk utformning av sin kornstruktur. Denna har uppnåtts antingen vid själva tillverkningsprocessen eller under någon senare produktionsfas. Den stora skillnaden mellan finkorniga och grovkorniga material är att den sammanlagda korngränssytan är större hos ett finkornigt material. Detta innebär att ett finkornigt material ger dislokationerna kortare vägar att förflytta sig på.

På grund av att dislokationerna som hejdas upp vid korngränserna ligger på samma sida av glidplanet och därför kommer att stöta bort varandra, kräver finkorniga material en högre spänning än grovkorniga för att överhuvudtaget kunna deformeras. Detta innebär att det sakta men säkert byggs upp en spänning i materialet, som så småningom når denna spänning även dislokationsgeneratoren som då slutar producera nya dislokationer. Då kornen är mindre i finkornigt material, och därigenom vägarna som dislokationerna kan förflytta sig efter kortare, sker detta produktionsstopp snabbare i finkornigt material än i grovkornigt. Detta medför att finkorniga material kräver högre spänningar för återupptagen dislokationsrörelse, vilket betyder att materialets sträckgräns höjs.

Som tidigare nämnts är dislokationstätheten betydligt högre i kalldeformerade material än i glödgade. Dessutom har de ursprungliga kornen ändrat form, det vill säga deformerats. För att kornen ska kunna återta sin naturliga form utförs ofta värmebehandling. Om denna värmebehandling genomförs vid låga temperaturer sker en omorganisering bland dislokationerna, så att spänningarna i kristallen minimeras. Detta kallas polygonisering, eller återhämtning. Följden av denna återhämtning kan ses i de förändringar materialets elektriska egenskaper genomgår. Materialets hårdhet ändras dock inte, då antalet dislokationer är det samma. Vid högre temperaturer går de flesta dislokationer åt, då de tar kål på varandra. Detta kallas även för rekristallisation och innebär att nya korn bildas. Dessa nya korn har en låg dislokationstäthet, ca 10^6 dislokationer per cm^2 . Då ett finkornigt material värms upp eftersträvar det en minskning av sin totala korngränssyta.

Rekristallisation

Då ett material kallbearbetas uppstår en ökning av dislokationer samt en deformation av kristallgittret. Om deformationen varit tillräckligt stor försöker gittret att omorganisera sig till ett nytt kristallgitter, det vill säga bilda nya kristaller. Rekristallisation innebär att deformationshårdnade kristaller ersätts av mjuka. Det går till så att det deformerade materialet värms upp, varpå det blir kärnbildning i korngränser och dislokationer. Dessa nya korn växer och förtär de gamla deformerade kornen. Materialet blir något mjukare av en rekristallisation eftersom de nya kornen inte innehåller lika många dislokationer.

Om deformationen är ytterst liten äger ingen förändring av kristallgittret rum. Det är först vid den så kallade kritiska deformationsgraden som en ny kornstruktur börjar ta form. Ju mer omfattande deformationen varit, desto fler nya kristaller bildas och materialet blir alltmer finkornigt till följd av rekristallisation. (8) Rekristallisationen inträffar vid en temperatur som för rena metaller ligger kring 0,4 gånger smälttemperaturen.

Arbetet

Problemformulering

Den problemformulering som Norma hade löd som följer.

”Att ge förslag på materialval och bearbetningsförfarande för patronhylsor, så att tillräcklig sträckgräns på färdiga hylsor kan uppnås.”

Tillvägagångssätt

Arbetet började med att fastställa själva problemställningen. Vad var själva problemet? Vad skulle göras? Vilka resurser fanns? Vilka tester kunde göras? Hur skulle arbetet schemaläggas och så vidare. När det väl var gjort samlades en mängd befintlig relevant data in. Det som ansågs vara relevant för detta arbete rörde bottenjocklek och kritiskt tryck för de hylsor som Norma tillverkar. Det vill säga hur tjock botten hylsorna hade, vilket tryck de hade klarat vid provskjutningar och vilket tryck de måste klara för att vara godkända som övertryckshylsor. Det tryck som hylsorna måste klara för att bli accepterade som övertryckshylsor är fastställt av Commission Internationale Permanente, CIP, som är ett europeiskt kontrollorgan för ammunition och skjutvapen. CIP har gett ut tabeller med värden för varje kaliber. Beroende på vilken typ av tryckmätning som används, måste viss beräkning genomföras för att få fram vilket tryck som fordras för att en hylsa ska vara godkänd som övertryckshylsa. För detta arbete skulle tabellvärdena multipliceras med 1,25. När all data var samlad och alla tryckberäkningar utförda, sammanställdes alltihop. För att kontrollera huruvida det fanns något samband mellan bottenjocklek och hur högt tryck hylsan klarade, plottades det kritiska trycket mot bottenjockleken. Det kritiska trycket är det högsta tryck som hylsorna klarat vid provskjutningarna. Det verkade dock inte finnas något sådant samband, varför det beslutades att sträckgränsen måste undersökas. Nu inleddes en omfattande litteraturstudie, som tyvärr inte gav så mycket som önskats. Anledningen till att litteraturstudien gav ett klen resultat är att just den legering som används vid hylstillverkningen är relativt ovanlig.

När problemställningen var fastlagd och tillgänglig relevant data insamlad, började undersökningar om vilka försök som skulle kunna genomföras. Vad var viktigt för just det här arbetet? Det fastslogs tidigt att försök med kupolpressade hylsor måste genomföras. Kupolpressade hylsor är hylsor där tändhattsläget har pressats i två steg, i stället för i ett som det vanligen görs. Det bestämdes också att skjutprov med olika laddvikter måste utföras för att se hur materialet reagerar vid olika inre gastryck, detta för både vanliga hylsor och hylsor som var kupolpressade. Även dragprov måste genomföras för att fastställa materialets sträckgräns. Givetvis skulle också hylsämnen undersökas under själva tillverkningen.

Provberedning

För att kunna studera hur materialet i hylsorna beter sig under tillverkningen, samlades en mängd prover in. Det togs prover från alla steg i tillverkningen. Provberedningen gick till som så att provet kapades till lämplig storlek och göts in i en termoplast. När denna gjutoperation var färdig slipades, polerades och etsades provet innan det kunde studeras i optiskt mikroskop, OM. Provet slipades i flera steg med slippapper av grovlek 120, 240, 320, 600, 800 samt 1200. Själva slipningen gick till så att provet slipades så att alla repor hade samma riktning, varefter provet vreds ett kvarts varv och slipades tills alla repor ändrat riktning. Detta upprepas för varje grovlek av slipmedium. Varje steg tog ungefär

2x20 sekunder. Efter slipningen var det dags för polering. Poleringen utfördes med en polerduk som sprayades med diamanter i en viss storlek. Provet polerades med diamanter i storleksordningen 6, 3, 1 och ¼ µm. Polerskivan var dock oscillerande, varför provet inte behövde vridas efter halva tiden. En tumregel för polering är att hårda material bör motroteras, det vill säga att under själva poleringen bör provet sakta föras mot skivans rotationsriktning. För mjuka material, som till exempel mässing, bör provet medroteras. Varje poleringssteg tog ungefär 2 minuter.

När poleringen väl var klar skulle provet etsas så att materialstrukturen framträdde. Det etsmedel som användes bestod av 100 ml destillerat vatten, 10 g ammoniumsulfat, (NH₄)₂SO₄, och slutligen 5 ml ammoniak, NH₃. (9)

Efter att en rad provetsningar genomförts beslöts att proverna borde etsas i 90 – 180 sekunder för att strukturen skulle framträda tydligt.

Studier med OM

När proverna beretts enligt tidigare nämnda procedurer vad det så dags att studera dem i OM. Alla beredda prover studerades för att försöka hitta en förklaring till att vissa hylsor klarar ett högre inre tryck än andra. Det togs bilder och mättes kornstorlek.

Dragprov

När proverna studerats i OM och hårdhetsmätningar gjorts genomfördes dragprov för att kunna koppla hårdheten med deformationsgraden.

Eftersom det inte hittats tillräckligt med information om den aktuella legeringen, CuZn28, beslöts att först göra en prov-dragprovstav. Detta för att utifrån resultatet av dragningen av den räkna ut hur resterande stavar borde dimensioneras. För att få en ungefärlig dimensionering på den första staven, användes värden för mässing med 30 % zink. Högsta möjliga dragkraft till brott sattes till 15 kN, för att ha lite marginal vid själva försöket. Maskinen klarar egentligen att dra upp till 20 kN.

För CuZn30 gäller att E-modulen är 115 kN/mm² och brottgränsen, R_m, ligger mellan 300 och 480 N/mm², beroende på vilket tillstånd materialet är i. Det lägsta värdet är för glödgat tillstånd och det högsta är för 1/1-hårt. Eftersom plåtarna var helt obearbetade beslöts att räkna med brottgränsen för det glödgade materialet, 300 - 350 N/mm². För att räkna ut vilken tvärsnittsarea som provstavarna skulle ha, användes

$$\sigma = \frac{F}{A} \Leftrightarrow A = \frac{F}{\sigma}$$

där F är största möjliga dragkraft, 15 kN
A är tvärsnittsarean
σ är spänningen, det vill säga brottgränsen R_m

Plåten som skulle göras till provstav hade dimensionerna 100x40x3,6 mm. Med insatta värden blir det då

$$A_0 = \frac{F}{R_m} = \frac{15000}{300} = 50 \text{ mm}^2$$

och

$$A_0 = \frac{15000}{350} = 42,86 \text{ mm}^2$$

Bredden blir då

$$A_0 = t \cdot b \Leftrightarrow b = \frac{A_0}{t} = \frac{50}{3,6} = 13,88 \text{ mm}$$

och

$$b = \frac{42,86}{3,6} = 11,91 \text{ mm}$$

Med dessa beräkningar som beslutsgrund bestämdes att bredden på provstaven skulle sättas till 12 mm.

Plåtarna som skulle användas till dragproven var i minsta laget, varför utformningen av stavarna blev lite av en nödlösning. Enligt standarden för dragprov, SIS EN 10 0002-1, ska en dragprovstav utformas på så sätt att radien mellan den parallella delen och skallarna är minst 12 mm. Dessutom ska staven, om bredden på mätlängden underskrider 20 mm, i övrigt utformas så att mätlängden, L_0 , är minst 50 mm och försöklängden, L_c , är minst

$$L_c = L_0 + 3b$$

där b är bredden på den parallella delen.

Detta gjorde att L_c skulle ha blivit så lång att det nästan inte skulle ha blivit något kvar för dragmaskinen att greppa tag i. Därför bestämdes att i stället sätta L_0 till 40 mm och att göra radien så stor som möjligt men ändå spara lite material till skallarna.

När den första staven var tillverkad och dragprovet genomfört, visade det sig att det inte varit en så tokig approximation vad gäller brottgränsen. Därför blev den enda ändringen för de resterande stavarna att skallarna förstörades en aning, genom att förkorta L_c , för att förbättra dragprovmaskinens grepp om dem. Detta för att det under första dragprovet syntes några hopp på dragprovskurvan, som antogs komma från att maskinen tillfälligt tappade greppet om staven.

När de resterande stavarna tillverkats, genomfördes dragproven med bra resultat. Stavarna drogs till 10, 20, 30, 40, 50 respektive 60 procents förlängning, se bild 4, och Bilaga 1.

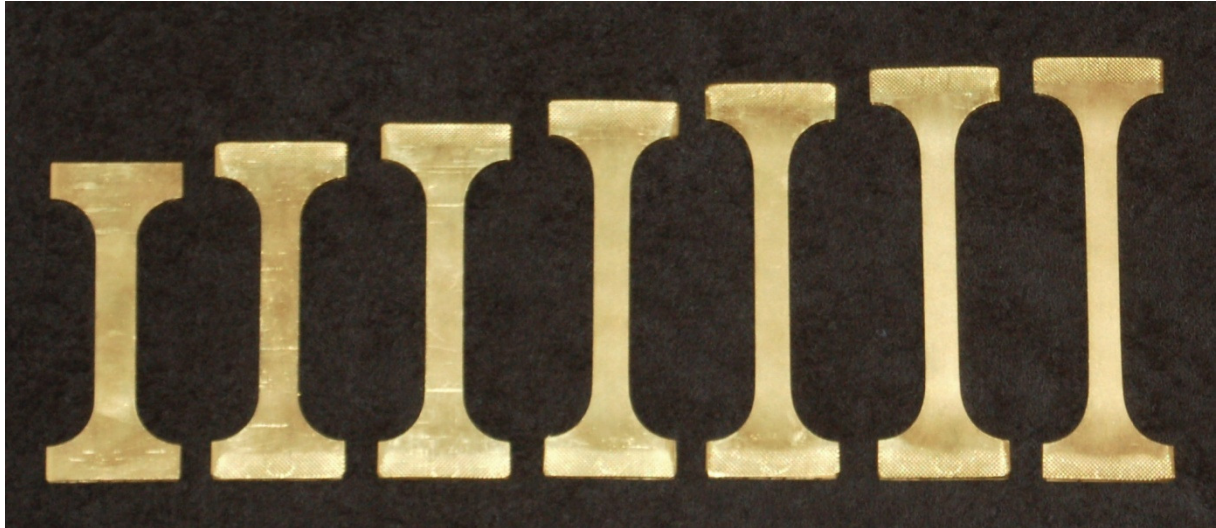


Bild 4: Dragprovstavar. Från vänster syns först en icke-dragen provstav, sen följer de som är dragna till 10, 20, 30, 40, 50 respektive 60 procents förlängning.

Hårdhetsmätningar

När strukturen studerats mättes mikrohårheten för alla prover. Mätningarna koncentrerades kring tändhattsläget för de färdiga hylsorna, eftersom det är där deformationen vid avfyrningen sker.

Det utfördes även hårdhetsmätningar på de dragna provstavarna för att försöka hitta ett samband mellan deformationsgrad och hårdhet.

SEM-undersökning

Det utfördes SEM-undersökningar på ett par prover, för att säkerställa att det faktiskt var samma materialsammansättning i de prover som samlats in. Detta för att proverna som undersöktes i var insamlade under två olika tillfällen, och kom därför från två olika leveranser. Dessutom undersöktes en dragprovstav för att försäkra att även den var av samma material.

Kornstorleksmätning

Kornstorleken mättes i de prov som ansågs relevanta för *Soft brass*-värdet för att se hur den förändrades under tillverkningen.

Resultat

Studier med OM

Dessa studier visade ganska tydligt hur materialet reagerat vid varje steg i produktionen. I första steget, det vill säga efter en dragpressoperation, syns tydligt hur materialet har flutit i det som kommer att bli hylsans väggar, se bild 5. Det är också lätt att se hur materialet har rekristalliserat efter glödningen, se bild 6.



Bild 5: Bilden visar hur materialstrukturen ser ut efter den första dragpressoperation.

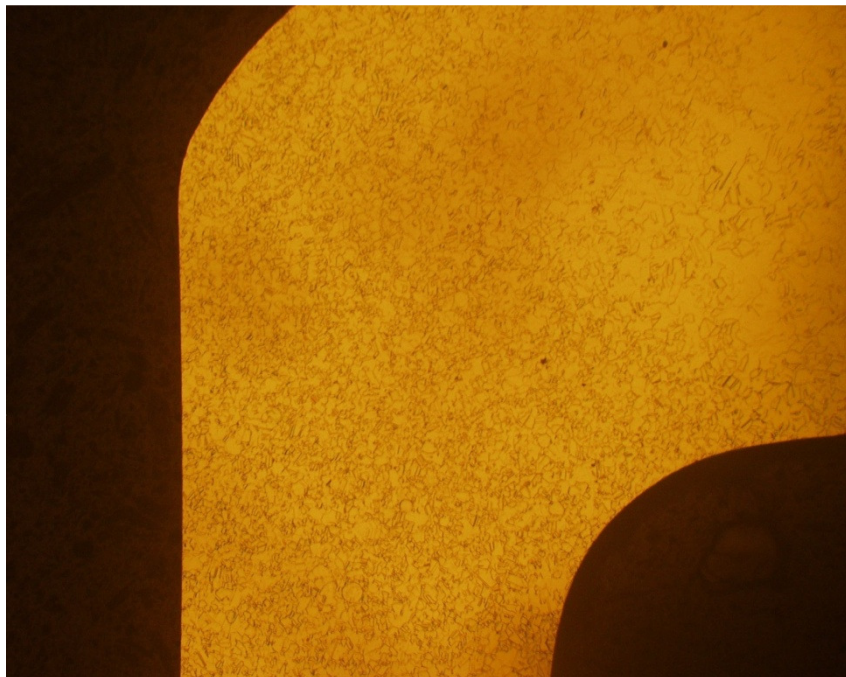


Bild 6: Bilden visar hur strukturen ser ut efter en dragpressoperation och efterföljande glödning.

Det går att följa hur strukturen ändras i alla produktionssteg. Se bilaga 2. Det som är mest intressant för det här arbetet är hur materialstrukturen kring tändhattsläget ser ut.

Studier med SEM

SEM-undersökningen, som ju genomfördes enbart för att kontrollera att det faktiskt var samma material i då båda insamlingarna av prover, visade att det var det. Ett av resultaten var dock lite nedslående. Det verkade som om dragprovstavarna var av någon annan typ av mässing. Se bilaga 3.

Hårdhetsmätningar

Hylsämnen

Hårdhetsmätningarna visade hur hårdheten förändrades under produktionsprocessen. Vad som relativt tydligt kunde ses var hur materialet blev hårdare för varje steg i tillverkningsprocessen. Hårdheten under varje steg i tillverkningsprocessen som berör botten kan ses i tabell 3.

Tabell 3: Hur hårdheten förändras under tillverkningsprocessen.

Steg under tillverkningen	Lägsta uppmätta hårdhet (HV)	Högsta uppmätta hårdhet (HV)	Medelvärde på hårdheten (HV)
Dragpressning 1	85	157	101
Dragpressning 1, glödlat	69	91	80
Dragpressning 2	89	189	132
Dragpressning 3	90	180	127
Dragpressning 3, glödlat	70	108	86
Bottenpressning	170	231	205
Färdig hylsa, första provomgången	166	238	202
Färdig hylsa, andra provomgången	178	239	206
Färdig hylsa, kupolpressad	182	248	211

Som synes går det att se en, om än liten, skillnad mellan vanliga hylsor och de som är kupolpressade. I de första stegen under tillverkningen hittas de lägsta värdena i botten på den blivande hylsan. De högsta värdena finns då i väggarna, där materialet är bearbetat som mest. Efter bottenpressningen finns de lägsta värdena dock i ytterkanterna av botten. De högsta värdena återfinns då kring hylsans tändhattsläge.

Dragprov

Hårdhetsmätningarna på dragproven visade att det går att koppla ihop hårdheten med deformationsgraden, se tabell 4.

Tabell 4: Hårdheten och deformationsgraden för dragproverna.

Förlängning (%)	Hårdhet (HV)	Deformationsgrad (%)
10	104,5	6,5
	105,0	6,9
	109,5	7,3
20	138,5	15,0
	140,0	15,3
	143,0	15,6
30	151,5	22,7
	155,5	23,6
	157,0	26,2
40	156,0	27,0
	163,5	27,1
	167,5	28,8
50	168,0	31,4
	169,5	32,4
	170,0	32,8
60	176,5	34,6
	180,5	34,9
	183,5	35,2

Kornstorleksmätning

Mätningen av kornstorleken visade att den minskar successivt under tillverkningen, se tabell 5.

Tabell 5: Hur kornstorleken ändras under tillverkningsprocessens gång.

Steg under tillverkningen	Minsta uppmätta kornstorlek (µm)	Högsta uppmätta kornstorlek (µm)	Medelkornstorlek (µm)
Dragpressning 1	36,8	75,6	54,1
Dragpressning 1, glödlat	28,8	46,6	39,2
Dragpressning 2	23,1	38,3	30,3
Dragpressning 3	23,6	58,3	40,1
Dragpressning 3, glödlat	23,3	58,5	37,1
Färdig hylsa	24,8	48,7	37,6
Färdig hylsa, kupolpressad	23,8	45,0	33,8

Slutsats

Slutsatserna av arbetet blir att Norma för att förbättra *Soft brass*-värdet på sina hylsor bör försöka optimera processen kring bottenpressningen, så att hylsämnet pressas två gånger i stället för en. Detta för att det, enligt de resultat som uppnåts med detta arbete, är genom deformationshärdning som hylsorna blir stadigare i botten.

Diskussion

Enligt uppgiften skulle både materialval och bearbetningsförfarande undersökas. Men detta med materialval har under arbetets gång uteslutits eftersom det skulle kunna innebära omfattande förändringar både vad gäller maskinpark och tillvägagångssätt. I stället har arbetet fokuserats på att kunna förbättra *Soft brass*-värdet på hylsorna med minsta möjliga antal modifikationer vad gäller tillverkningsprocedurerna.

I alla arbeten finns en viss risk för felkällor, så även i detta fall.

- Resultatet från kupolpressningen visar inte så stora skillnader som förväntats. Detta tros dock bero på materialleveransen. Alla de prover som togs under den dagen som kupolpressningsförsöket gjordes, kom från samma materialleverans. Och alla prover fick dåliga värden under testerna. Det går inte desto mindre att se en skillnad, även om den är ytterst liten.
- Resultatet från SEM-undersökningen av dragproven visade att det var ett annat material i dragprovsstaven än i hylsämnen. Detta tros dock bero på att provet inte var tvättat tillräckligt ordentligt. De ämnen som syns i protokollet från SEM-undersökningen är sådana som kan komma från hanteringen. Om undersökningen skulle göras om med ett prov som är bättre rengjort, skulle resultatet förmodligen bli ett annat.
- Som alltid finns ju den mänskliga faktorn. Det kan mycket väl vara så att jag stirrat mig blind på den lösning som jag redan från början misstänkte var den rätta. Jag tror dock att jag kommit fram till rätt slutsats, med de förutsättningar jag hade. Allt som jag sett när jag undersökt materialet tyder på att det är deformationshärdning som är svaret.

Fortsatt arbete

Som fortsatt arbete rekommenderas att Norma Precision AB undersöker huruvida befintliga pressningsoperationer kan modifieras så att bottenpressningen sker i två steg i stället för, som i dagsläget, ett.

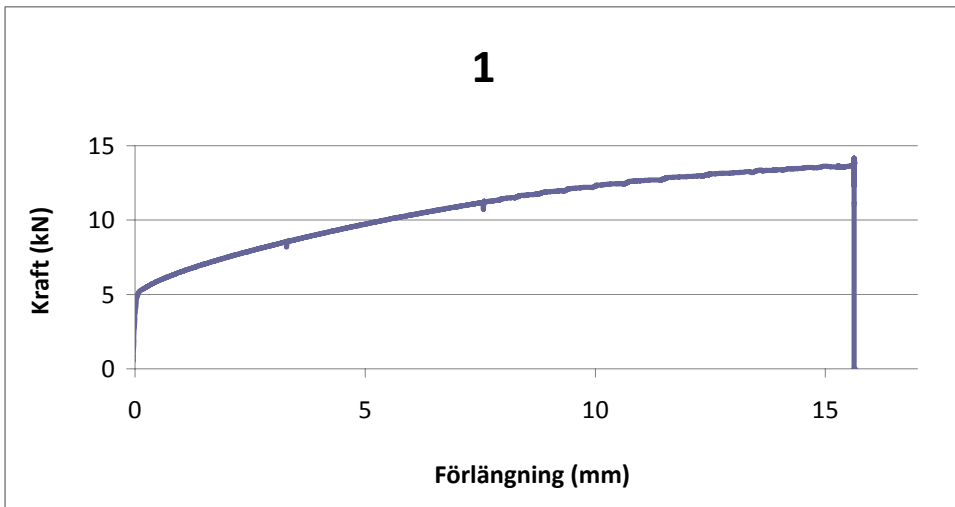
Litteraturförteckning

1. **Axelsson, K., et.al.** *Laddmanual*. Arvika, Sweden : Set Communication AB, 2004.
2. **Demeri, M. Y.** *Deep Drawing, Metalworking: Sheet Forming*. [Elektronisk resurs] u.o. : ASM international, ASM Handbooks, 2006.
3. **Metallverken.** KopparData. *Djuppressning*. Västerås : Västra Aros, 1985.
4. [Online] Scandinavian Copper Development Association. [http:// www.scda.com/sv/](http://www.scda.com/sv/).
5. **Ullman, Erik.** *Materiallära*. Fjortonde upplagan. Värnamo, Sweden : Fälth & Hässler, 2003. ISBN 91-47-05178-7.
6. *Nationalencyklopedin*. [Elektronisk resurs] u.o. : Nationalencyklopedin på nätet.
7. Copper - Specifications, Grades and Properties. [Online] aalco. http://www.aalco.co.uk/technical/datasheets/Aalco_Datasheet_Cu_Specifications.pdf.
8. **AB Svenska metallverken.** *Metallhandbok*. Stockholm : Ervaco/Emil Khilströms tryckeri A-B, 1958.
9. **Modin, H., et.al.** *Handbok i mikroskopering*. Stockholm : Maskin- & Reproduktionssätter, Reprocentral II Kungl. Tekniska Högskolan, 1985. ISBN 91-970254-5-3.
10. *Alloy Phase Diagrams*. [Elektronisk resurs] u.o. : ASM Handbokks Online, Volume 3.

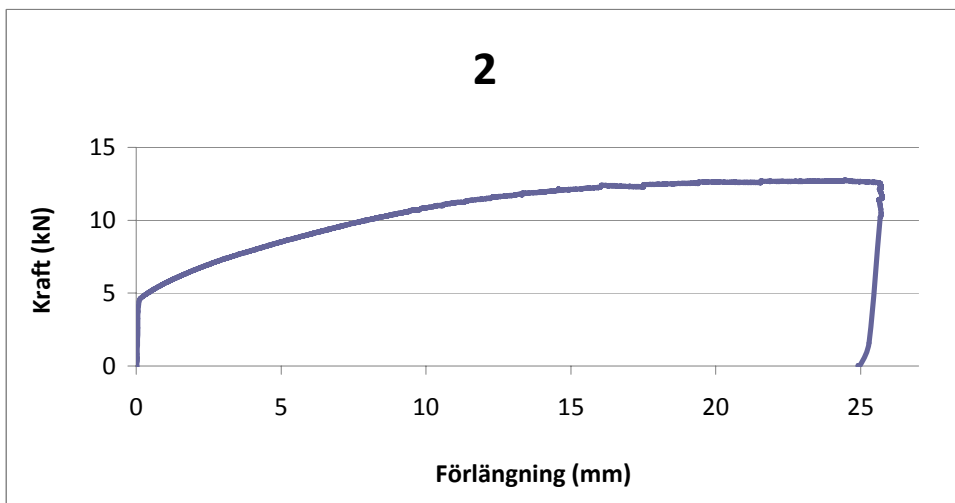
Bilagor

- Bilaga 1: Sammanställning av resultaten från dragproven, 4 sidor.
- Bilaga 2: Bilder på materialstrukturen under tillverkningsprocessen, 3 sidor.
- Bilaga 3: Sammanställning av resultaten från SEM-undersökningarna, 3 sidor.

Bilaga 1 (1/4): Sammanställning av dragprovresultat

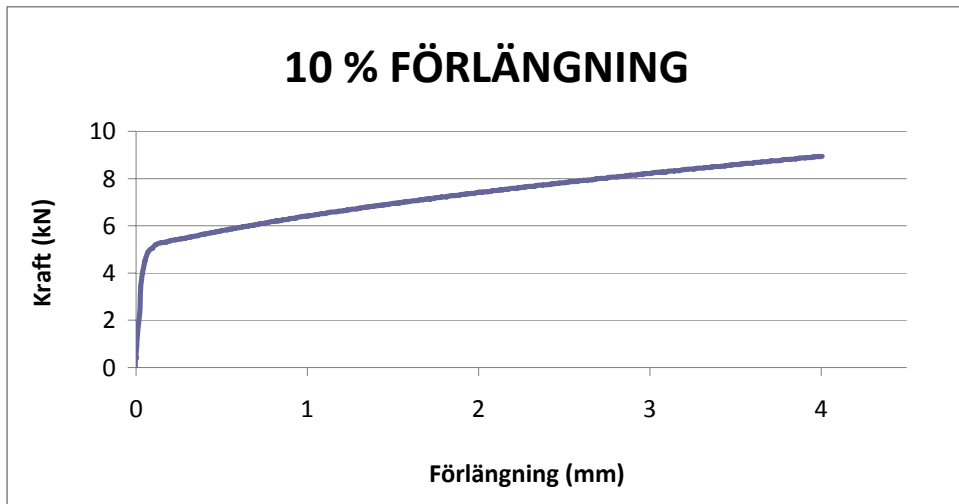


Max. belastning 14170 kN.
Max. förlängning 15,625 mm.

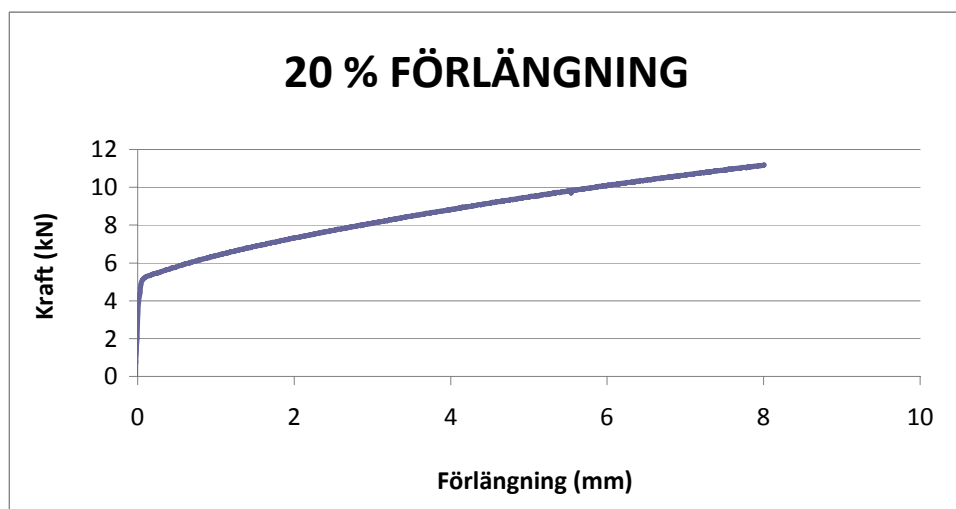


Max. belastning 12,768kN.
Max. förlängning 25,749 mm.

Bilaga 1 (2/4): Sammanställning av dragprovsresultat

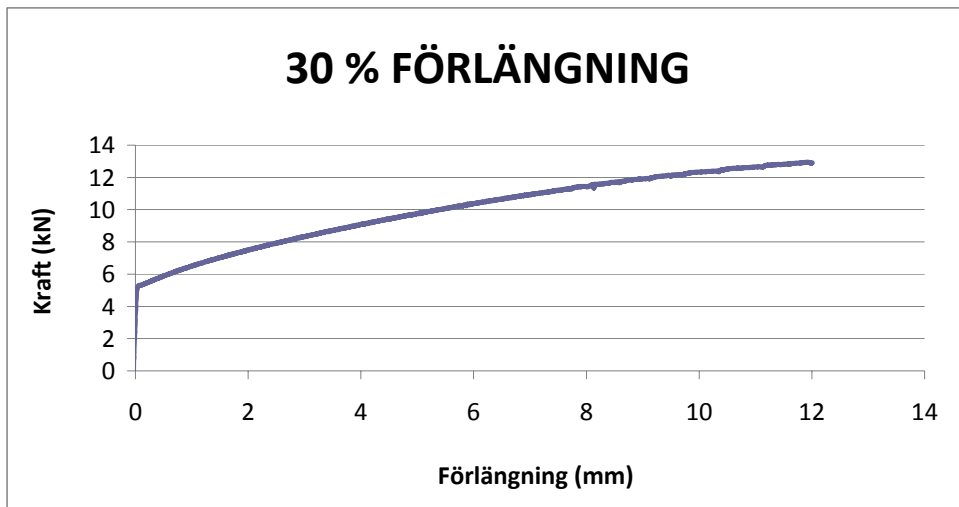


Max. belastning 8,940 kN.
Max. förlängning 4,006 mm.

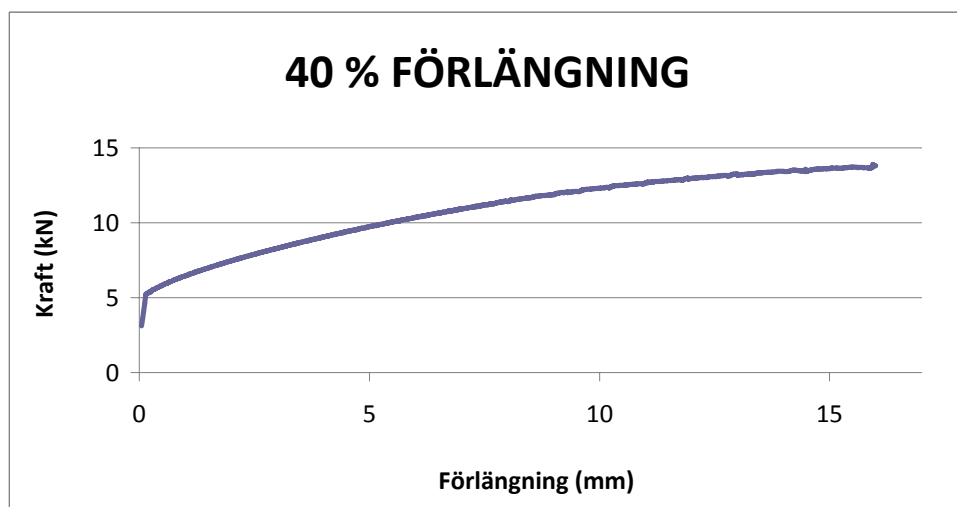


Max. belastning 11,183 kN.
Max. förlängning 8,008 mm.

Bilaga 1 (3/4): Sammanställning av dragprovsresultat

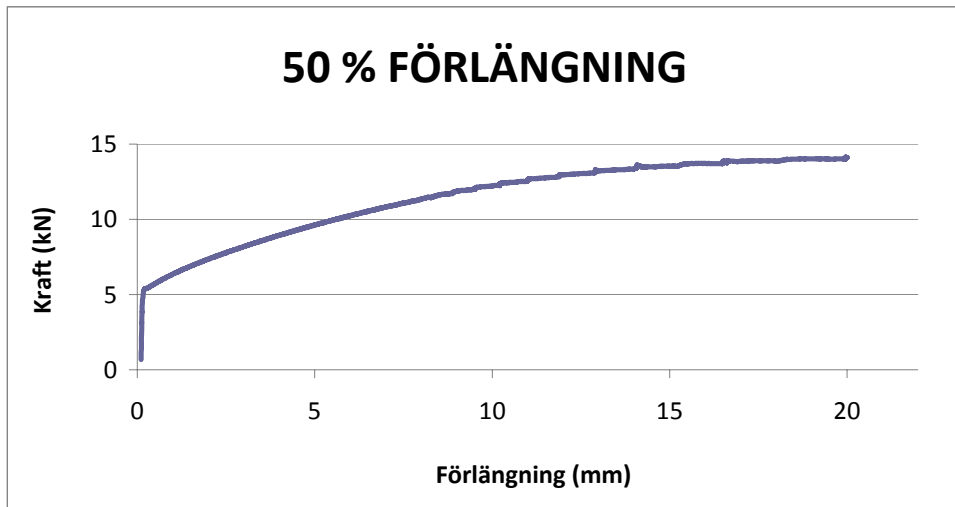


Max. belastning 12,953 kN.
Max. förlängning 12,005 mm.

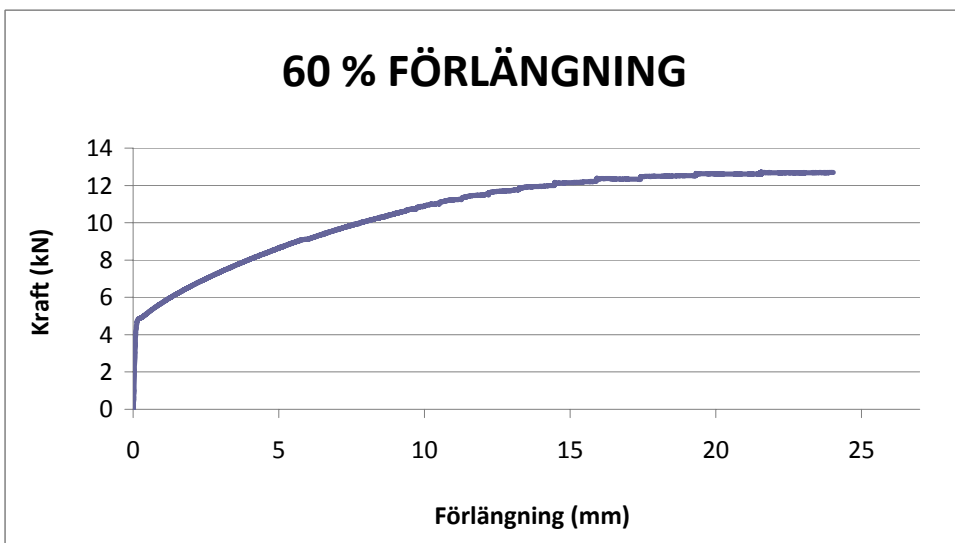


Max. belastning 13,882 kN.
Max. förlängning 16,00 mm.

Bilaga 1 (4/4): Sammanställning av dragprovsresultat



Max. belastning 14,151 kN.
Max. förlängning 20,006 mm.

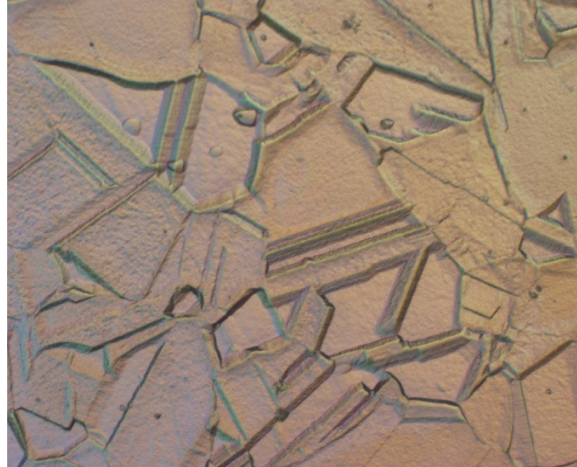
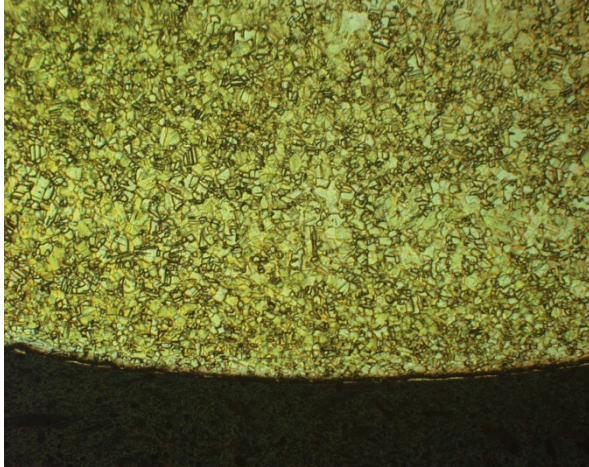


Max. belastning 12,711 kN.
Max. förlängning 24,031 mm.

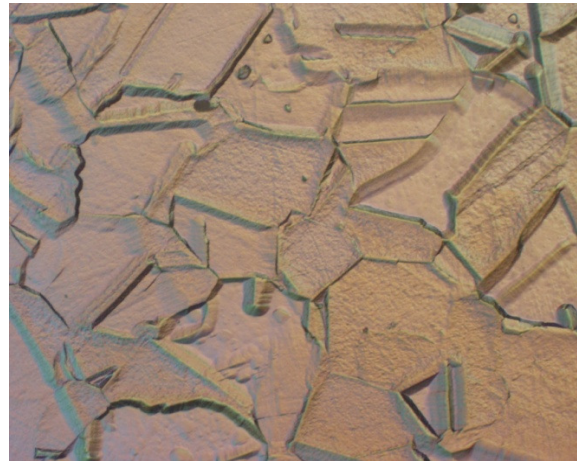
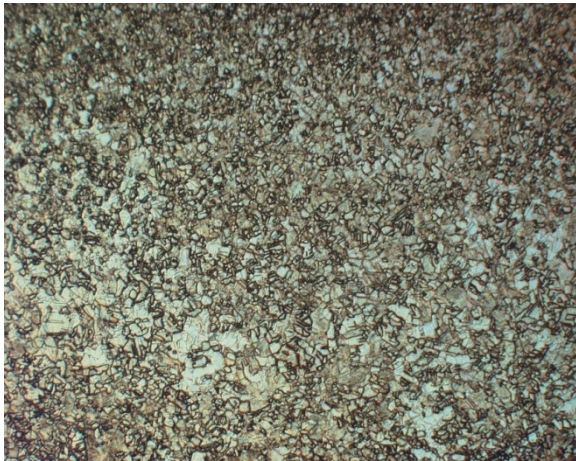
Bilaga 2 (1/3): Bilder på strukturen

Först visas en bild med 2,5 gångers förstoring, sen en med 50 gångers förstoring. Bilderna är från mitten av botten om inget annat anges.

Efter andra dragpressoperationen.

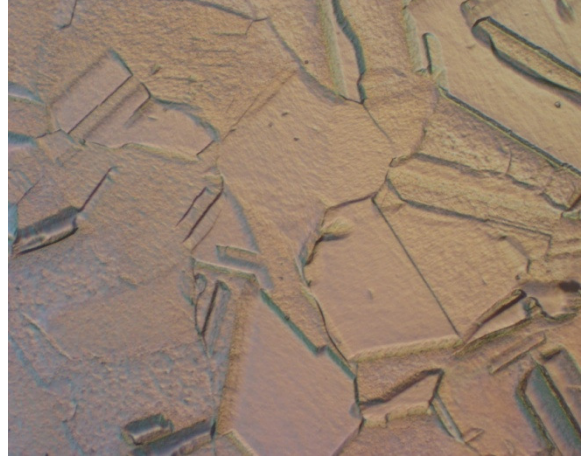


Efter tredje dragpressoperationen. Lagg märke till hur strukturen blivit mindre.

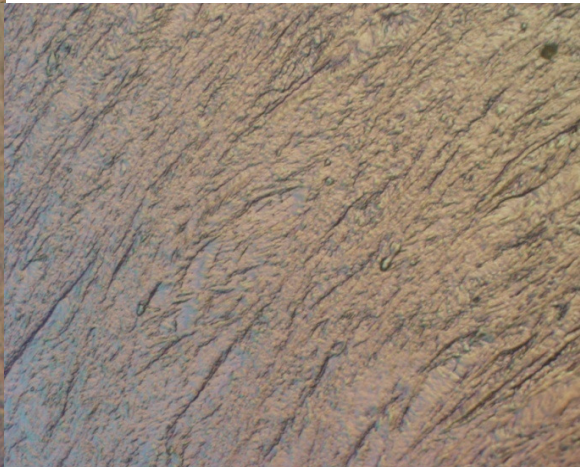
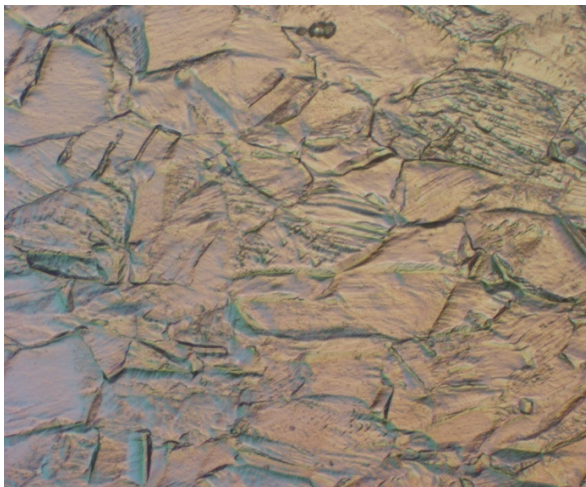


Bilaga 2 (2/3): Bilder på strukturen

Efter tredje dragpressoperationen och efterföljande glödning, lägg märke till hur strukturen blivit grövre.



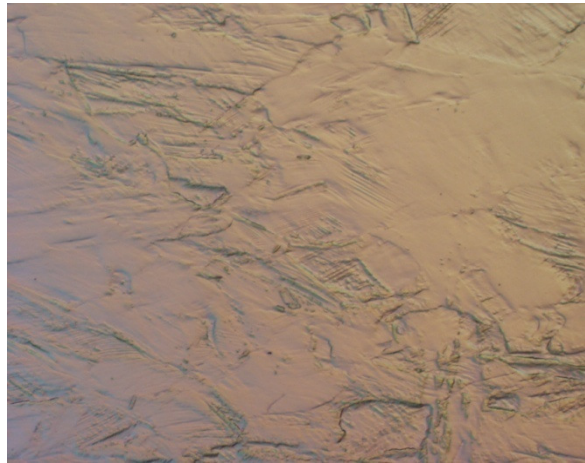
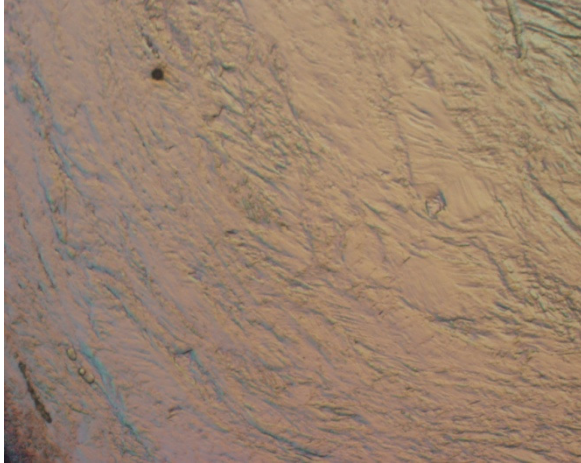
Färdig hylsa. Först visas en bild på strukturen i botten av hylsan. Sen ses en bild som visar strukturen vid sidan av tändhattsläget och slutligen en bild som visar hur materialet har flutit kring hörnet på tändhattsläget.



Bilaga 2 (3/3): Bilder på strukturen

Färdig kupolpressad hylsa.

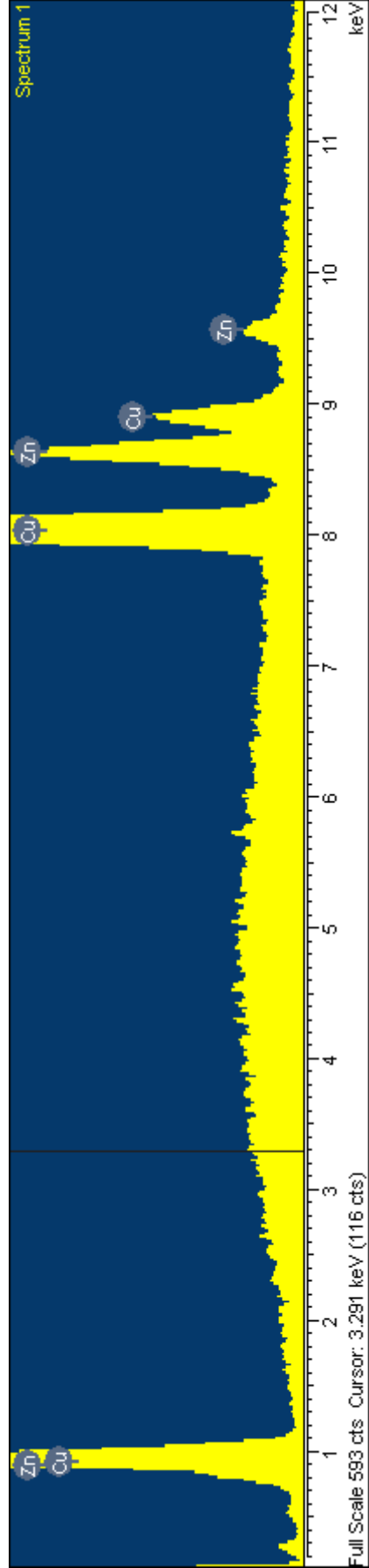
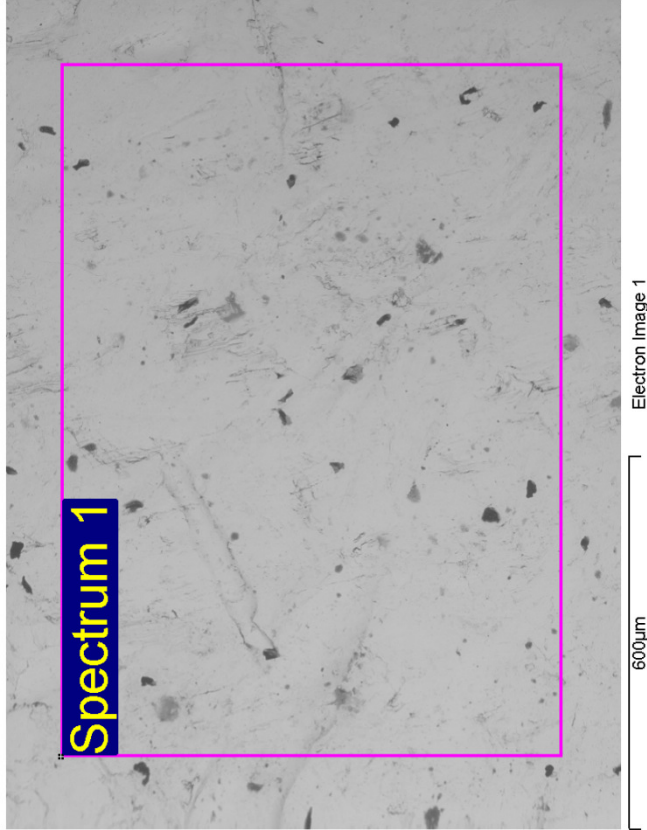
Först visas en bild på hur materialet har flutit längst ner vid kanten av tändhattsläget, sen visas en bild på materialstrukturen i botten av hylsan. Lägg märke till skillnaden mot strukturen för en vanlig hylsa.



Sample: Sample 3
 Type: Default
 ID: Hylsämne 1

Spectrum processing :

Element	Weight%	Atomic%
Cu L	64.59	65.24
Zn L	35.41	34.76
Totals	100.00	



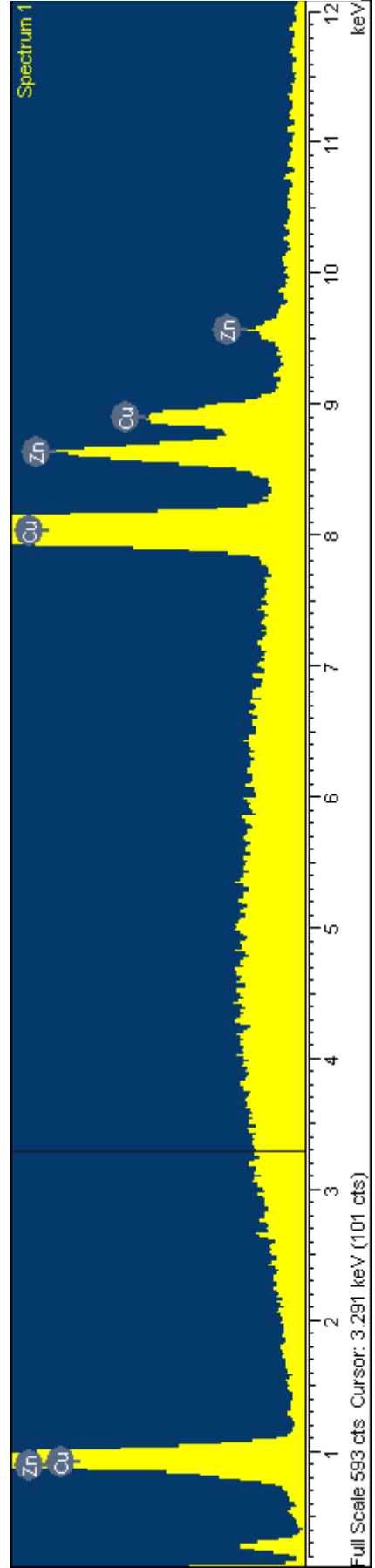
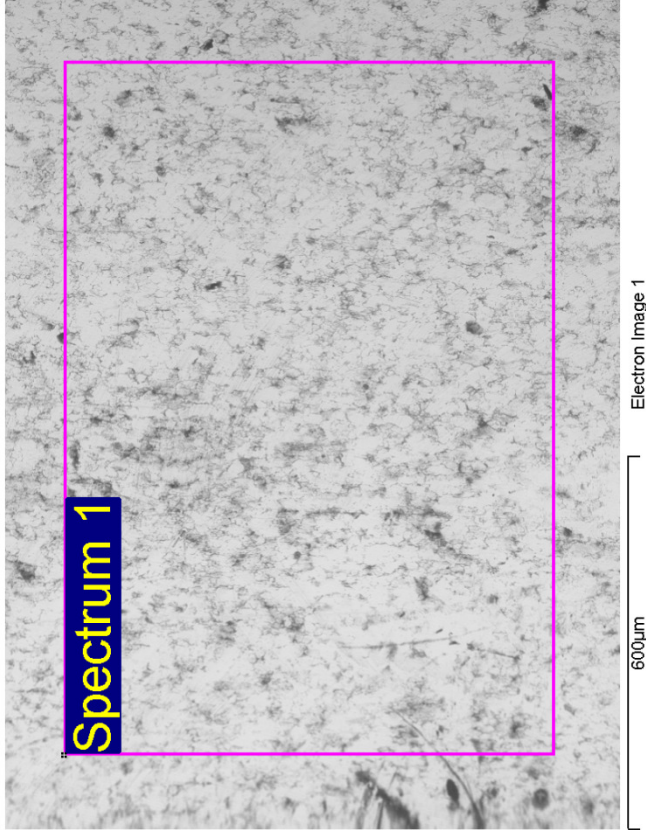
Bilaga 3 (2/3): Resultat av SEM-undersökningarna

Project 1

Sample: Sample 2
Type: Default
ID: Hylsämne 2

Spectrum processing :

Element	Weight%	Atomic%
Cu L	70.57	71.15
Zn L	29.43	28.85
Totals	100.00	



Project 1

Sample: Sample 1
 Type: Default
 ID: Provstav

Spectrum processing :
 No peaks omitted

Element	Weight%	Atomic%
CK	9.14	33.67
OK	1.35	3.73
SK	0.76	1.05
ClK	0.62	0.77
CuL	59.63	41.50
ZnL	28.50	19.28
Totals	100.00	

