

CODEN:LUTMDN/(TMMV-5262)/1-52/2013



LUND UNIVERSITY
Lund Institute of Technology

Användning av blyfri mässing vid tillverkning av armaturkomponenter

Erik Lundström

Lund 2013-10-23

INSTITUTIONEN FÖR MASKINTEKNOLOGI
AVDELNINGEN FÖR INDUSTRIELL PRODUKTION
LTH, LUNDS UNIVERSITET

Förord

Detta examensarbete har utförts som ett samarbete mellan Markaryds Metallarmatur (MMA) och Lunds universitet. Tanken är att arbetet ska vara till hjälp för projektet "*Lead-Free Brass in Home Products and Components*" som är ett större forskningsprojekt som involverar både MMA och Lunds universitet finansierat av MISTRA. Arbetet har därför planerats och utformats efter möten med produktionschef Kent Nilsson, MMA och professor Jan-Eric Ståhl, avdelningen för Industriell Produktion vid Lunds universitet. Merparten av arbetet är utfört vid avdelningen för Industriell Produktion vid Lunds universitet.

Jag vill framföra ett stort tack till de personer som har bidragit eller hjälpt mig under arbetets gång. Det är ett antal personer som jag vill tacka särskilt då de har bidragit extra mycket till arbetet:

Professor Jan-Eric Ståhl, examinator samt handledare som har bidragit med sina omfattande kunskaper inom skärande bearbetning, inom produktion och flertalet andra områden. Kent Nilsson, MMA, för tillhandahållande av det material som testats samt mycket omfattande hjälp vid framtagandet av provkroppar för dragprov. Tekn Dr Volodymyr Bushlya, avdelningen Industriell Produktion vid Lunds universitet, som med omfattande kunskaper inom skärande bearbetning och analys på mikroskalan har bidragit stort till korrekta resultat.

Professor Jinming Zhou, avdelningen Industriell Produktion vid Lunds universitet, för utförandet av nanoindentering (hårdhetsmätning på nanonivå) samt hjälp med analys av dessa resultat. Doktorand Fredrik Schultheiss, avdelningen Industriell Produktion vid Lunds universitet, för hjälp med praktiska frågeställningar gällande bland annat skärande bearbetning.

Samtliga medarbetare på Industriellt Utvecklingscentrum i Olofström för deras mycket professionella bemötande vid utförande av dragprover.

Det finns väldigt många personer som påverkat arbetet i en positiv riktning, även om de inte är nämnda personligen vill jag tacka samtliga.

Till sist vill jag särskilt tacka MMA för att man är beredd att gå i bräsch för denna nödvändiga samhällsutveckling och att göra stora ansträngningar för att begränsa spridningen av bly i samhället.

Erik Lundström

Sammanfattning

På senare år har stort fokus legat på blyhalten i olika produkter då flertalet negativa hälsoeffekter har uppdragats till följd av blyexponering. Därför ställs nya krav på flertalet produkter som i dagsläget tillåts innehålla en viss begränsad andel bly.

Trots dess hälsovådlighet används bly fortfarande i vissa legeringar, detta till stor del för att en blyhaltig legering är fördelaktig vid produktion. Mässing får i komponenter, för hushållsnära applikationer, innehålla upp till 3.5 % bly.

Tillsatsen av bly sänker produktionskostnaden i flertalet produktionsprocesser, dock främst vid skärande bearbetning samt smidning. De skärtekniska fördelarna leder till en markant lägre kostnad än motsvarande blyfria alternativ då dagens teknik används. Detta är en kraftigt bidragande anledning till varför bly fortfarande är tillåtet i bland annat mässingslegeringar.

Forskningen inom det blyfria området har varit mycket begränsad då industrin har lagt mer resurser på att vidmakthålla nuvarande tillverkningsförutsättningar, och därmed kunna behålla de blyhaltiga legeringarna, istället för att utreda huruvida ett blyfritt alternativ skulle vara ekonomiskt gångbart. Saknas de industriella behoven, saknas ofta också den finansieringen av forskning och därmed möjligheten för utveckling inom området.

Tanken med arbetet var att utreda huruvida det finns något blyfritt alternativ som skulle kunna vara ekonomiskt hållbart vid tillverkning av armaturkomponenter.

Fyra olika typer av mässingslegeringar jämfördes för att få en bild av deras skärbarhet, vilket är den mest betydelsefulla faktorn. Ett blyfritt alternativ, CW724R, testades och dess materialegenskaper jämfördes med de andra legeringarna.

Resultatet visar på att CW724R har en högre hållfasthet än de andra legeringarna. På grund av denna ökade hållfasthet kan material sparas vid tillverkning av en fiktiv produkt. Dock är materialegenskaperna hos CW724R negativa vid skärande bearbetning och processkostnaderna kommer därför att öka med denna legering. En ökad kunskap om legeringen samt utveckling av nya skärverktyg borde dock kunna leda till en lägre kostnad och därför går det inte att dra någon direkt slutsats av detta arbete.

Den slutsatsen som går att dra är att mer arbete krävs inom området för att öka kunskapen för blyfria kopparlegeringar.

Abstract

Since there has been recent research showing negative health effects from lead exposure, there has been a lot of focus on the lead content in different products. Therefore, there are new limitations on products concerning how much lead they are allowed to contain.

Even though lead is a hazardous metal, it is still used to a wide extent in some alloys because of its benefits during manufacturing. Brass is allowed to contain up to 3.5 per cent lead when used in products for household use.

The addition of lead decreases the production cost in most manufacturing steps, although it is most used for machining operations. The advantages in cutting technology leads to a significantly lowered manufacturing cost compared to the lead free alternatives machined using the technology of today. This is a major reason to why lead is still allowed in metal alloys, especially copper alloys.

There has not been much research in the field of lead free copper alloys. One reason could be that the industry has used a lot of resources to be able to still keep using the leaded materials. Little to no research has been done regarding if a lead free alternative could be of economical use. Since there has been no interest, there has not been any financial aid from the companies and thus the opportunity for research has been slim.

The thought behind this essay was to evaluate whether a lead free alternative exists that could be economically sustainable in producing armature components.

Four different types of brass alloys were compared to be able to evaluate how suited they were for machining. One lead free alternative, CW724R, was tested and their material property was compared to the other alloys.

The results show that CW724R has a considerably higher strength than the other alloys. Thanks to the higher strength, some material can be saved when producing a product compared to the leaded alloys. However, the material properties for CW724R are worse, compared to the others, when machining and thus leads to increased costs during manufacturing. An increased knowledge about this alloy and the cutting process could potentially lead to decreased costs and therefore it is difficult to draw any conclusion from this work.

What stands clear is that more work has to be carried out within this field to increase knowledge about lead free copper alloys.

Innehållsförteckning

1	Bakgrund	5
2	Målsättningar och avgränsningar	7
2.1	Problemformulering	7
2.2	Avgränsningar	8
2.3	Metodik	9
3	Grundläggande skärteknik	10
3.1	Geometrier	10
3.2	Skärkrafter	12
3.3	Verktygsmaterial	13
3.4	Nedbrytning av skärverktyg	14
3.5	Coldings ekvation	15
4	Skärbarhet	17
4.1	Skärbarhet hos arbetsmaterial	17
4.2	Polära diagram	17
5	Litteraturstudie- Blyfria kopparlegeringar	23
6	Material	25
6.1	Förväntade materialdata	28
6.2	CW608N	29
6.3	CW724R	30
6.4	CW602N	31
6.5	CW614N	28
6.6	Återvinning	32
7	Materialtester	33
7.1	Dragprov	33
7.2	Hårdhetsprov	35
7.3	Polära diagram	38
8	Slutsatser	41

1 Bakgrund

Maskinbearbetning har varit mycket viktigt för industrin ända sen den industriella revolutionen. Tillverkningsindustrin strävar efter att nå en minimal kostnad vid tillverkning, en maximal produktionstakt eller en optimal kombination av dessa.

En maximal produktionstakt innebär i fallet med skärande bearbetning att man vill maximera skärdata för ett visst givet arbetsmaterial samt verktyg. Med skärdata avses skärhastighet v_c , skärdjup a_p och matningshastighet f . För att nå en optimal kombination avseende både ekonomiska aspekter samt produktionstakt måste hela processen beaktas. Materialvalet hos produkten avgör till stor del vilka parametrar som är möjliga inom en process, även valet av verktyg påverkar möjliga skärdata.

Ekonomisk lönsamhet är ofta det som begränsar valet av material, svårbearbetade material brukar undvikas om de inte krävs för att nå designkrav hos produkten. Dock är kopplingen mellan produktutveckling och produktion ofta inte välutvecklad vilket i många fall försvårar arbetet med produktionen.

Livslängden hos verktyg är en faktor som till stor del påverkar kostnaden hos en process. En uppskattning av ett verktygs livslängd kan göras med hjälp av Taylors ekvation, ekvationen presenterades redan 1907 av Frederick Winslow Taylor (Ståhl, 2013). Den bygger på att förslitningen av ett verktyg endast beror på skärhastigheten, Taylors ekvation kan ses som *Ekvation 1* nedan.

$$v_c \cdot T^n = C \quad \text{Ekvation 1}$$

Den stora nackdelen med Taylors ekvation är att den endast gäller vid låga temperaturer och vid abrasiv förslitning av verktyget. Då man i de flesta fall även har adhesiv förslitning är det inte optimalt att använda Taylors ekvation. Ett alternativ till Taylors ekvation är Coldings ekvation som presenterades 1980. (Colding, 1991)

Coldings ekvation tar hänsyn till andra former av förslitning än bara abrasiv förslitning, som i fallet med Taylor. Dessa typer av förslitning är till exempel plastisk deformation, adhesiv förslitning och utbrytningar ur egglinjen. Genom att hänsyn tas till flertalet former av förslitning ger ekvationen en bra bild av livslängden hos verktyg under gällande bearbetningssituation.

För att kartlägga hur ett arbetsmaterial beter sig vid skärande bearbetning kan så kallade polära diagram användas. Diagrammen utgår från fem olika materialparametrar och ger en klar bild hur ett material beter sig jämfört med ett referensmaterial. Tanken är att hitta ett känt material som liknar arbetsmaterialet, uppträdandet vid skärande bearbetning torde då vara liknande och det blir enklare att finna optimala skärdata (Ståhl, 2012).

2 Mål och avgränsningar

Slutmålet med det projekt som detta arbete ingår i är att ta fram en nationell demonstrator som påvisar möjligheten att tillverka blyfria armaturkomponenter på ett konkurrensmässigt sätt i stora serier. Vidden av projektet är mycket omfattande, examensarbetet bör därför ses som en grund till efterföljande projekt för att en slutgiltig lösning ska nås.

2.1 Problemformulering

Arbetet är ett examensprojekt mellan Markaryds Metallarmatur, MMA, och Lunds Tekniska högskola.

Nya miljökrav ställs dagligen på de flesta produkter. På senare år har stort fokus legat på blyhalten i olika produkter då flertalet negativa hälsoeffekter har uppdragats till följd av blyexponering. Detta gäller speciellt yngre individer; foster, spädbarn och barn är de mest utsatta vid exponering av bly. Gränsvärdet för den andel bly som är tillåten i blodet hos yngre individer har reviderats och sänkts av Europeiska Livsmedelsrådet på senare tid.(Boverket, 2012) Därför krävs en sänkning av blyhalten i de flesta produkter som kommer i direkt kontakt med människor.

I boverkets rapport går det att utläsa att rekommenderat gränsvärde, för bly i kontakt med dricksvatten, är 5 mikrogram per liter. Eftersom dagens gällande lagkrav är på maximalt 20 mikrogram per liter dricksvatten, är det rekommenderade kravet betydligt snävare. Om tillverkningsindustrin skall följa det rekommenderade värdet kommer tillverkningskostnaderna oundvikligen att öka till följd av de tillverkningsstekniska fördelarna med bly. Vinsten blir dock en minskad exponering av bly, vilket i sin tur borde leda till minskad risk för bland annat neurologiska sjukdomar hos befolkningen.

Industrin i Sverige är till stor del beroende av skärande bearbetning vid tillverkning av metallprodukter. Detta medför att materialet som ingår i produkterna måste anpassas för ökad skärbarhet, samtidigt som designkraven inte får kringgås. Ett sätt att få ökad skärbarhet hos metaller är att legera materialet med bly.

Bly ökar skärbarheten genom att det lägger sig fritt i korngränserna och agerar som smörjmedel vid bearbetning, det vill säga sänker skärkrafterna, samt ser till att spånbrytningen blir lättare att hantera(Ståhl, 2012). En ökad skärbarhet leder även till ökad produktivitet och det är därför inte helt trivialt att byta ut bly som legeringsämne.

I fallet med mässing, som är det material som berörs i detta projekt, leder legering med bly till kraftigt ökad skärbarhet. På grund av kommande regelverk måste

industrin jobba för att minimera användandet av bly. Detta gör att helt blyfria alternativ till dagens mest använda mässingslegeringar blir mycket intressanta.

Ett stort problem med de blyfria mässingslegeringarna är att de är dyrare än motsvarande legeringar innehållandes bly. Kostnadsökningen beror till stor del på att de blyfria materialen innehåller en större andel koppar, vilket är en kostsam metallsort. Målet med detta arbete är att hitta något alternativt som är ekonomiskt hållbart. Om det ej går att sänka kostnaderna söks en minimal ökning av dagens produktionskostnader. Detta görs på grund av kommande regelverk som leder till att industrin tvingas leverera miljövänligare produkter.

MMA levererar produkter till värmesystem, dessa system kommer troligtvis inte drabbas lika hårt av nya miljödirektiv som till exempel de som hanterar dricksvatten. Genom att ligga i framkant vad gäller miljöarbete kan företaget dock få ökad dragkraft hos konsumenter samtidigt som andra företag kan dra nytta av den nya tekniken. Detta borde leda till stora samhällsvinster i form av en mycket minskad blyexponering.

2.2 Avgränsningar

Arbetsmaterialet som används i arbetet begränsas till ett antal olika sorters mässing. Den signifikanta skillnaden mellan de valda sorterna är andelen bly-, zink samt kopparinnehåll. En litteraturstudie genomförs för att ta reda på vilka legeringar som är bäst lämpade för att ersätta dagens blyade alternativ. Givetvis finns det fler alternativa material, men tidsbegränsningen leder till att maximalt fyra material kan undersökas, varav ett blyfritt alternativ.

Skärande bearbetning är den dominerande bearbetningsformen för mässing hos MMA. Det är vanligt att man i fallet med mässing använder verktyg av antingen snabbstål eller hårdmetall. Även diamantverktyg förekommer, speciellt används dessa verktyg då höga krav ställs på ytfinhet eller detaljen har mycket snäva toleranser (Nordic Brass, 2000). MMA använder sig i dagsläget av hårdmetallskär och därför kommer projektet att begränsas till användning av dessa skär. Företaget tillverkar sina egna verktyg vilket medför att skärgeometrierna kan optimeras. Dock kommer skärgeometrierna ej att varieras i detta projekt på grund av den begränsade tiden.

Materialdata för de olika materialen kommer att tas fram. Dessa parametrar är: hårdhet, abrasivitet, deformationshårdnande, duktilitet och termisk ledningsförmåga. Genom att data för materialen tas fram kommer de att kunna rangordnas i förhållande till varandra vad gäller skärbarhet.

De skärdata som används varieras för att få fram data över verktygsförslitning, enligt Coldings modell. En del av arbetet går ut på att ta fram optimala skärdata för den blyfria legeringen, med optimala skärdata menas här lägst kostnad samtidigt som tillräckligt hög produktionstakt kan uppnås.

Ett utslitningskriterium gällande nuvarande produktion kommer att tas fram för att ha ett bra utgångsläge vid val av skärdata för det blyfria materialet. Detta görs genom strukturanalys av utslitna skärverktyg från pågående produktion. Då kan ett maximalt tillåtet slitage förhoppningsvis hittas, vilket sedan kan användas vid byte av arbetsmaterial.

Då kostnadsbilden förändras vid användning av den blyfria legeringen, kommer beräkning av en ny detaljkostnad att göras. Detta för att en utvärdering av det miljövänliga materialet skall kunna genomföras.

Som tidigare nämnt kan tidsbegränsningen av examensarbetet medföra att alla punkter inte hinns med, detta får istället undersökas i det efterföljande projektet. Examensarbetet ska ses som en grund för efterföljande forskning.

2.3 Metodik

En litteraturstudie genomförs för att få en bild över vilka material som ska undersökas samt vilka metoder som krävs för att genomföra arbetet. Nödvändig kunskap förvärfvas här för att kunna ta fram ett antal aktuella materialsorter.

I litteraturen ingår vetenskapliga artiklar, böcker och andra källor som är relevanta för skärande bearbetning.

Då materialsorterna är fastställda krävs det att de kartläggs vad gäller de egenskaper som är intressanta vid skärande bearbetning. Egna tester utförs för att fastställa korrekta materialdata som sedan kan användas vid skärbarhetsberäkningar.

För att effektivisera de experiment som skall utföras, görs noggranna förberedelser. Detta för att minimera tidsförluster vid utförandet samt att få tillförlitliga resultat. Då det finns stora begränsningar, framförallt tidsmässigt, i detta arbete är det naturligt att effektivisera arbetet maximalt.

Experimenten utförs i största möjliga mån enligt ISO-standard för att få korrekta resultat. Data från experimenten analyseras utifrån ett statistiskt synsätt för att tolka resultaten på ett riktigt sätt.

3 Grundläggande skärteknik

För att förstå hur olika materialegenskaper påverkar tillverkningsprocessen krävs grundläggande kunskaper om skärteknik. I detta avsnitt beskrivs de grundbegrepp som är viktiga inom skärande bearbetning. Fokus ligger på svarvning eftersom det är den primära bearbetning som kommer att bedrivas hos MMA vad gäller mässing.

Det finns två olika sorters skärande bearbetning, kontinuerlig och intermitterent bearbetning. Intermitterent bearbetning är då skäret är i ingrepp periodvis, exempel på sådan bearbetning är slipning och fräsning. Kontinuerlig bearbetning är då skäret är i ingrepp under hela operationstiden, en svarvoperation kan vara ett exempel på en kontinuerlig bearbetning.

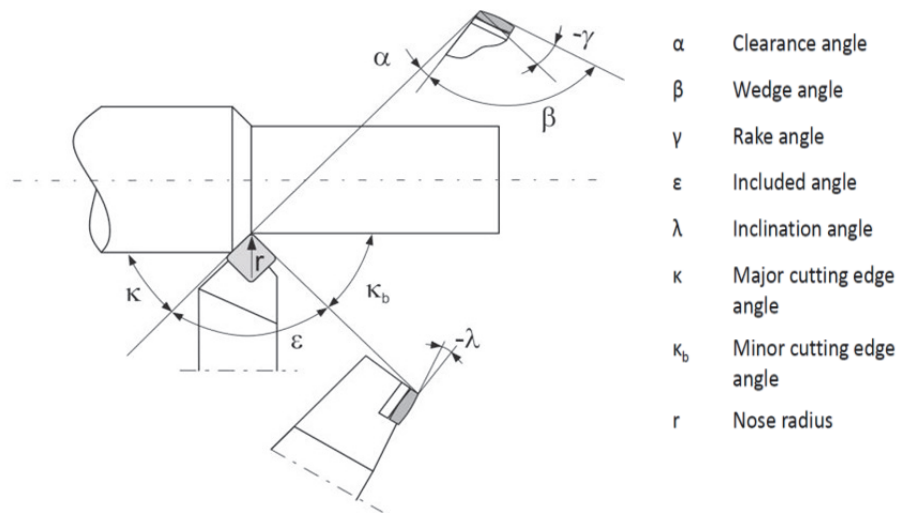
Verktyget i ingrepp, det så kallade vändskäret, utsätts för olika typer av förslitning beroende på vilken sorts bearbetning som sker. De olika förslitningarna som sker är beskrivna i detta avsnitt. Det är ofta förslitningen som leder till ett verktygsbyte, detta medför en kostnad i form av stillestånd samt nytt verktyg.

3.1 Geometrier

De verktyg som används vid skärande bearbetning består huvudsakligen av två delar. Delen som skjuvar av spånan från arbetsstycket kallas för vändskär. Geometrin hos vändskäret är vald för att få maximal livstid samtidigt som gällande designkrav följs.

För att hålla fast skäret under processen används en verktygshållare. Utformningen av hållaren skiljer sig beroende på skärets geometri samt utformningen av materialet som bearbetas. Designen av hållaren är viktig för att kunna erhålla en stabil process med minimal belastning på skäret, samtidigt som det skall vara möjligt att komma åt att bearbeta alla ytor som krävs för att framställa detaljen utan att verktyget i sig är i vägen.

Figur 1 visar de geometrier som är viktiga att beakta vid svarvning.



Figur 1: Grafiken visar de geometrier som är väsentliga vid svarvning.
(Ståhl, 2012)

Geometrierna i en svarvprocess delas upp i två delar, skär- och verktygsgeometri. Skärgeometri är den geometri hos vändskäret som inte påverkas beroende av hur inspänningen i hållaren ser ut. Verktygsgeometrin är på liknande sätt den geometri som hållaren har.

Skärgeometrin består av ett flertal delar. Eggvinkeln β och spetsvinkeln ϵ påverkar både skärets värmeledningsförmåga samt hållfasthet. Nosradien r har en inverkan på hållfastheten samtidigt som den har en stor betydelse för vilken ytfinhet som är möjlig att generera med skäret.

Släppningsvinkeln α är den vinkel som ger skäret frigång från den bearbetade ytan, då vändskäret slits minskar släppningsvinkeln.

Verktygsgeometrin kan beskrivas med två vinklar, ställvinkeln κ och lutningsvinkeln λ . Med hjälp av lutningsvinkeln kan man till viss del reglera storleken på skärkrafterna som uppkommer, spånavgången i processen kan även styras. Genom att variera ställvinkeln kan den teoretiska spåntjockleken h_1 ändras och därmed kan en mer gynnsam spånåbrytning fås.

Geometrin hos verktyget har en stor inverkan på utslitningstiden av verktyget och det är detta samt materialvalet som kan varieras för att maximera utslitningstiden för verktyget.

3.2 Skärkrafter

Vid svarvning uppkommer skärkrafter under bearbetningen. Det är då verktyget är i ingrepp med arbetsstycket som krafterna uppkommer, det vill säga vid avverkning av spånor.

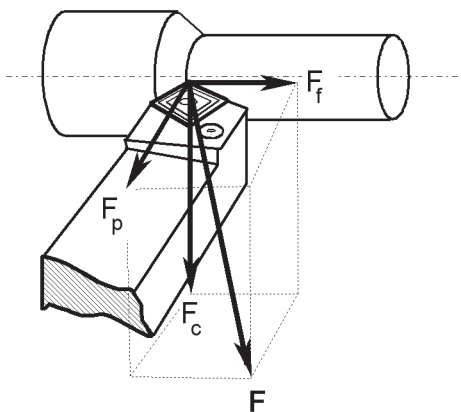
Vanligtvis brukar skärkrafterna delas upp i tre olika vektorer: Huvudskärkraften F_c , Matningskraften F_f samt passivkraften F_p . Detta är en vedertagen notation vid skärande bearbetning. Dessa krafter är ortogonala för att de skall kunna representera den totala skärkraften på ett korrekt sätt.

Huvudskärkraften är kraften som verkar i tangentiell riktning vid arbetsstyckets periferi. Detta är den kraft som har störst inverkan på avverkningen av spånan.

Matningskraften är den kraft som uppstår i axiell led då verktyget matas längs med arbetsstycket. Matningen utförs för att spånbildning skall kunna ske och matningshastigheten bestämmer hur bred spånan skall bli.

Passivkraften verkar i radiell led och uppstår således då verktyget trycks mot arbetsstyckets rotationscentrum. Även om ingen direkt aktiv rörelse sker i radiell led kommer denna kraft att uppstå på grund av kontakten mellan verktyget och arbetsstycket i form av elastisk deformation.

Nedan i Figur 2 visas en principiell illustration över hur krafterna är riktade under svarvning för att åskådliggöra de olika komponenterna ytterligare. Resultande kraft kan ses i denna figur.



Figur 2: Figuren visar hur de olika skärkrafterna verkar under svarvoperationen.

3.3 Verktygsmaterial

Beroende på vilket material som skall bearbetas krävs olika typer av verktygsmaterial. Grundkravet är dock att verktygsmaterialet måste vara hårdare än det material som ska bearbetas. Vid val av material måste hänsyn tas till flera olika variabler, exempelvis hårdhet, slitstyrka, seghet, varmhårdhet och så vidare. Vanligtvis söks en optimal kombination mellan seghet och slitstyrka. De flesta materialegenskaperna förändras kraftigt vid ökad temperatur och således är temperaturen i processen viktigt att ta hänsyn till.

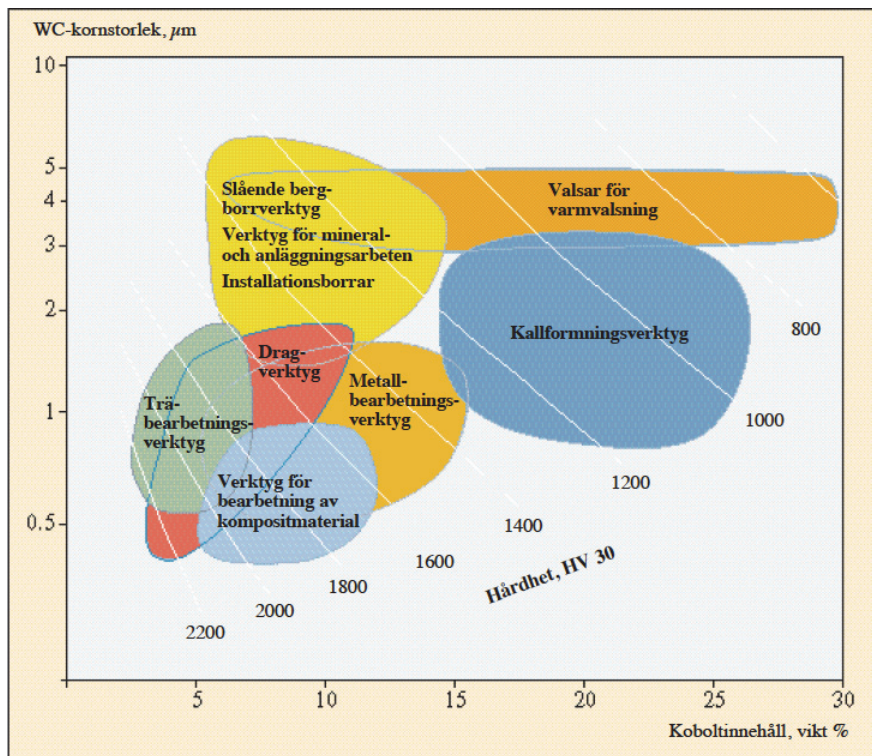
Samtliga nuvarande verktygsmaterial kan tillverkas med hjälp av pulverteknik. Materialen byggs upp av tre grundkomponenter: hårdämnen, bindfas och processtillsatser. Hårdämnena ger verktyget dess slitstyrka, bindfasen binder samman hårdämnena och processtillsatserna underlättar under tillverkningen.

Det är främst två olika sorters verktygsmaterial som används vid skärande bearbetning av kopparlegeringar, dessa är snabbstål och hårdmetall. Vid framställning av ytor med mycket hög ytfinhet kan även diamantverktyg användas. Det vanligaste verktygsmaterialet är hårdmetall och därför det material som är av störst intresse i detta projekt.

Hårdämnena i hårdmetall består till störst del av volframkarbid (WC), men även titankarbid (TiC), tantalkarbid (TaC) och niobkarbid (NbC) förekommer. De tre sistnämnda karbiderna styr primärt korn tillväxten och begränsar tillväxten vid sintring. Bindemedlet som används i hårdmetall är kobolt (Co), detta ökar segheten och binder ihop hårdämnena. På grund av att hårdmetall har en hög hårdhet och varmhållfasthet samt en begränsad sprödhet används det i väldigt stor utsträckning vid bearbetning av kopparlegeringar. (Ståhl, 2012)

I hårdmetall kan bindefasen legeras, eller till och med bytas ut, med exempelvis järn (Fe), krom (Cr), nickel (Ni), molybden (Mb) och olika legeringar av dessa ämnen (Sandvik Hard Materials kompendium: ”Detta är hårdmetall”). Hårdmetall legerad med Co som bindefas är det mest vanligt förekommande och det är även detta som kommer att användas i projektet.

WC-Co hårdmetall klassificeras inom skärande bearbetning med hjälp av kornstorleken på volframkarbidpartiklarna samt andelen kobolt. Nedan i Figur 3 åskådliggörs sammansättningen av hårdmetall vid olika tillämpningar.



Figur 3: Sammansättning av hårdmetall vid olika tillämpningar. (Sandvik Hard Materials kompendium: "Detta är hårdmetall").

Vid tillverkning av verktyg med avancerad geometri kan hårdmetall vara ett mycket begränsande material, då kan istället exempelvis snabbstål användas som verktygsmaterial. Snabbstål skiljer sig från andra stål då det innehåller en hög koncentration av karbider (upp till 25 procent). Grunden i snabbstål är härdat stål och de vanligaste legeringsämnena är volfram, molybden, kobolt, krom och vanadin. Hårdheten fås dels från innehållet av martensit i stålfasen men även från karbiderna. Både hårdheten och varmhållfastheten hos snabbstål är lägre än hos hårdmetallerna. En stor fördel med snabbstål är som tidigare nämnt formbarheten under tillverkning, detta medför att verktyg med mycket varierande form kan framställas.

3.4 Nedbrytning av skärverktyg

Verktygsnedbrytningen har en stor inverkan på produktionskostnaden. Skärdata har det största bidraget till hur nedbrytningsförloppet för verktyget kommer att se ut, därför behöver man beakta ökat slitage då skärdata förändras. Produktionstakten bestäms till stor del av vilka skärdata som väljs, på grund av nedbrytningen behöver en ökad produktionstakt inte leda till en förbättrad produktion då stillestånd sker vid verktygshaverier.

Verktøgsförlitningen kan delas in i två huvudgrupper av förlitning: förlitningsrelaterad samt icke förlitningsrelaterad nedbrytning. Den nedbrytning som uppkommer beror till den största delen av den mekaniska och den termiska belastningen som påverkar verktyget under bearbetning.

Den förlitningsrelaterade nedbrytningen sker uteslutande på de ytor av verktyget som är i kontakt med arbetsstycket. Fördelningen av nedbrytningen kan inom dessa ytor vara både uniform och lokaliserad till vissa områden.

Den icke förlitningsrelaterade nedbrytningen kan delas in i sprickbildning, plastisk deformation, brott och kemisk nedbrytning.

3.4.1 Utslitningskriterium för skärverktyg

Ett utslitningskriterium är vid den gräns man väljer att byta ut verktyget för att, vid slutlig bearbetning, kunna uppnå de toleranser som är satta vid tillverkningen. Det vill säga det krav som är satt för den enskilda bearbetningen. Utslitningskriteriet behöver således inte vara baserat på livslängden av verktyget, utan styrs till stor del av hur den specifika processen ser ut.

De faktorer som normalt bygger upp utslitningskriteriet är yt-, tolerans- och egenskapskrav på den producerade detaljen. I en stabil process brukar kriteriet motsvara en maximal faktisk ingreppstid innan verktygsbyte för att inte påverka produkten på ett negativt vis. Rent praktiskt kan verktygsbytet med fördel ske innan utslitningskriteriet har uppfyllts, detta då kostnaden ofta minimeras om bytet görs i samband med ett annat stopp i processen.

Utslitningskriteriet är ett mått på hur stor geometrisk förändring skärverktyget kan tillåtas ha. Normalt tillåts en högre förändring vid grovbearbetning jämfört med finbearbetning. Vid grovbearbetning ställs inte lika stora krav på ytfinhet och således gäller lägre krav på verktyget under processen. Ytdefekter, i begränsad utsträckning, kan accepteras vid grovbearbetning då efterföljande bearbetning är det som styr slutgiltig yta. Vid grovbearbetning är utslitningskriteriet primärt relaterat till livslängden för verktyget, vilket är den gräns av geometriförändring vid vilken verktyget tappar sin funktion. Kriteriet för utslitning ser därför mycket olikt ut beroende på vilken bearbetningsoperation som ska utföras.

3.5 Colding's ekvation

Colding har formulerat ett uttryck som beskriver sambandet mellan ett verktygs livslängd T , skärhastigheten v_c och den ekvivalenta spåntjockleken h_c (Colding, 1980).

Coldings ekvation gäller främst då den dominerande nedbrytningen är förslitningsrelaterad. Ekvationen är baserad på kurvanpassning och har således ingen direkt koppling till livslängden hos verktyget. Om nedbrytningen är av blandad karaktär blir det svårare att ta fram ett uttryck som beskriver livslängden och flertalet praktiska studier är då att föredra.

Eftersom mässing, vid svarvning, främst framkallar förslitningsrelaterad nedbrytning hos verktyget passar denna modell bra för detta projekt.

Nedan visas Coldings ekvation som *Ekvation 2*.

$$v_c = \exp \left[K - \frac{(\ln(h_e) - H)^2}{4 \cdot M} - (N_0 - L \cdot \ln(h_e)) \cdot \ln(T) \right] \quad \text{Ekvation 2}$$

Coldings ekvation innehåller 5 konstanter (H, K, L, M, N₀), samt variablerna livslängden T och skärhastigheten v_c. För att kunna bestämma dessa konstanter krävs det att minst 5 individuella försök genomförs. Erfarenhetsmässigt bör två par försök med samma ekvivalenta spåntjocklek h_e användas, skriver Ståhl i sin bok *Metal Cutting - Theories and Models*. Varje par skall kombineras med olika skärhastigheter. Skärdata för det femte försöket bör väljas mitt i rekommenderat skärdataområde för att bra värden på konstanterna skall fås.

Ett problem med Coldings ekvation är att utslitningskriteriet måste vara konstant, detta är svårt att uppnå vid skärteknisk provning. För att komma runt detta problem brukar skärkrafterna mätas kontinuerligt under försöket, när en kritisk nivå uppnås avbryts försöket. Denna kritiska nivå motsvarar utslitningskriteriet. Således undgås problemet till stor del och konstanterna kan anses vara tillförlitliga.

4 Skärbarhet

Skärbarheten är ett mycket viktigt begrepp inom skärande bearbetning och kan bedömas med hjälp av ett flertal tester. Det är i främsta hand mekaniska egenskaper som måste bestämmas för att kunna få en bild över ett materials skärbarhet. Även termiska egenskaper för ett material är avgörande för dess skärbarhet. De tester som krävs för att beskriva ett materials skärbarhet anges i detta avsnitt.

4.1 Skärbarhet hos arbetsmaterial

Skärbarheten hos ett material kan beskrivas med hjälp av ett antal faktorer. Detta är absolut inte trivialt utan beskrivs på flertalet olika sätt i litteraturen. Detta arbete kommer att baseras på de metoder som presenteras av Jan-Eric Ståhl i dennes bok *Metal Cutting - Theories and models*.

Här beskrivs skärbarheten hos ett material med hjälp av ett antal olika materialegenskaper, de kan beskrivas som följande faktorer:

- Hårdhet och deformationsmotstånd
- Abrasivitet och nötningsbenägenhet
- Duktilitet
- Deformationshårdnande
- Termisk ledningsförmåga

De angivna faktorerna är inte beroende av skärprocessen utan kan bestämmas utan att involvera processparametrar, det vill säga val av skärverktyg och skärdata.

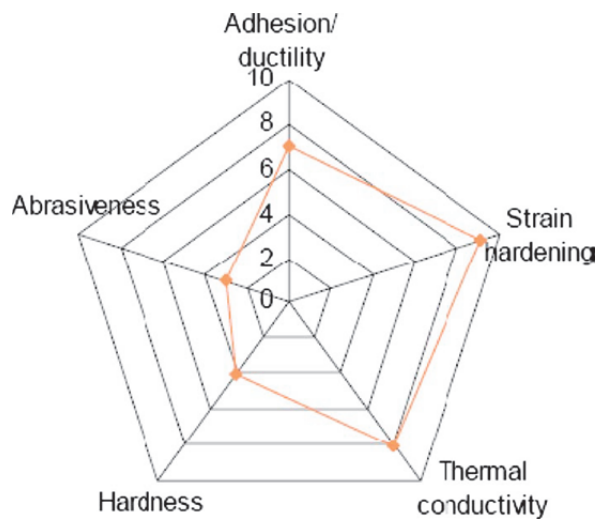
4.2 Polära diagram

Polära diagram används bland annat för att beskriva skärbarheten hos ett arbetsmaterial. Diagrammen baseras på materialfaktorerna som är angivna i avsnitt 4.1 ovan.

För att bygga upp ett polärt diagram krävs fem komponenter, dessa anges på en skala från till exempel 0 till 10, där ett referensmaterial har faktorn 5 för samtliga komponenter.

Ett exempel på ett sådant diagram kan ses i Figur 4.

Då diagrammet endast har reella axlar är det noga att rätt referensmaterial väljs, detta för att inte de andra materialen skall få negativa värden och därmed ge en korrekt bild av materialet.



Figur 4: Exempel på hur ett polärt diagram kan byggas upp som underlag vid skärande bearbetning. (Andersson et al., 2011)

I fallet med mässing väljs referensmaterialet till den mest använda legeringen i Europavard gäller skärande bearbetning, CW614N(German Copper Institute, 2010). Egenskaperna hos legeringen beskrivs i senare kapitel.

Tanken bakom de polära diagrammen är att få en möjlighet att klassificera olika material avseende deras skärbarhet och därmed till stor del kunna bestämma processparametrar för en skärprocess på kort tid. Genom att tidigt klassificera ett material kan både tid och pengar sparas, vilket är mycket attraktivt, inte minst bland dagens företag.

De relativa måttalen M_{rel} som används för att bygga upp diagrammen kan beräknas enligt Ekvation 3, detta gäller för abrasivitet, duktilitet, deformationshårdnande och hårdhet.

$$\begin{aligned}
 M_{rel}^x &= 5 + 5 \cdot \frac{X - R}{R - G_{min}} && \text{för } X < R \\
 M_{rel}^x &= 5 + 5 \cdot \frac{X - R}{G_{max} - R} && \text{för } X > R
 \end{aligned}
 \qquad \text{Ekvation 3}$$

I Ekvation 3 är X värdet på materialparametern hos materialet som undersöks, R är värdet hos referensmaterialet. G_{min} är det värde på materialparametern som motsvarar det relativa värdet 0 i det polära diagrammet. På liknande sätt är G_{max} det värde som motsvarar det relativa värdet 10.

Genom att beräkna ut ett relativt värde för materialen fås en linjär skala mellan 0-5 och 5-10.

För att beräkna ett relativt värde för den termiska ledningsförmågan används en annan ekvation. Detta då en minskad ledningsförmåga leder till sämre skärbarhet medan resterande materialparametrar leder till en ökad skärbarhet vid ökat mätemp. Beräkning av det relativa mätetalet för termisk ledningsförmåga kan ses i Ekvation 4.

$$M_{rel}^x = 5 + 5 \cdot \frac{R - X}{R - G_{min}} \quad \text{för } X < R$$
$$M_{rel}^x = 5 + 5 \cdot \frac{R - X}{G_{max} - R} \quad \text{för } X > R \quad \text{Ekvation 4}$$

Benämningarna i Ekvation 4 motsvarar samma värden som de i Ekvation 3.

Med hjälp av de givna ekvationerna kan relativa värden beräknas och därmed ett polärt diagram ritas upp för att beskriva skärbarheten hos ett visst material.

Nedan beskrivs kortfattat hur de olika materialparametrarna påverkar skärbarheten hos material samt hur dessa beräknas.

4.2.1 Hårdhet och deformationsmotstånd

Hårdheten hos ett material påverkar till stor del deformationsmotståndet samt skärmotståndet hos materialet under skärande bearbetning.

Lägre hårdhet är i de flesta fall att föredra vad gäller skärande bearbetning, dock inte om materialet är mycket duktilt. Om materialet uppvisar hög duktilitet kan problem uppstå vid låg hårdhet, ett stort problem är bildning av lösegg som leder till förkortad livstid hos verktyget.

Hårdheten har den största påverkan på skärkrafterna (Andersson et al., 2011) av de materialparametrar som nämns i detta arbete.

Hårdheten kommer i detta arbete att bestämmas med hjälp av nanoindentering. På detta vis fås ett värde som utgår från ett stort antal punkter på materialet och därmed borde vara ett korrekt värde. Samtliga faser mäts och en form av medelhårdhet fås.

4.2.2 Abrasivitet och nötningsbenägenhet

Ett exempel på en abrasiv process är slipning, denna förslitning uppstår från de friktionskrafter som uppkommer då flertalet ytor rör sig relativt varandra under tryck.

Det finns flertalet sätt att beskriva ett materials abrasivitet på, bland annat kan det beskrivas genom att studera ett sammantaget värde som konstrueras av materialets makrohärdhet samt skillnaden i härdhet för olika strukturbeståndsdelar (mikrohärdhet). En formel för beräkning av abrasivitetet visas i *Ekvation 5* (Ståhl, 2012).

$$W_{ab} = H_{HRC, makro} + C \cdot (H_{HRC, max}^{mikro} - H_{HRC, min}^{mikro}) \quad \text{Ekvation 5}$$

$H_{HRC, makro}$ är ett mått på medelhårdheten hos materialet. C är en konstant som beror på den hårda strukturens geometriska form och storlek. Resterande faktorer är, som tidigare beskrivet, beroende på skillnaden i härdhet för de olika strukturbeståndsdelarna.

Giltigheten av sambandet är inte helt utredd men visar enligt källan på lovande resultat.

4.2.3 Duktilitet

Duktiliteten hos ett material beskriver hur stor plastisk deformation som det kan utstå utan att brott sker.

Dragprov utförs på de olika legeringarna för att ta fram olika data för de olika materialen. För att uppskatta duktiliteten hos ett material används brottförlängningen. Brottförlängningen beskriver, i procent, hur mycket ett material deformeras innan brott sker.

Hög duktilitet kan leda till problem med spån­brytningen och spånorna bryts därför inte av, eller blir mycket långa. Detta är ogynnsamt vid svarvning och en lägre duktilitet är därför att föredra.

Figur 5 visar de olika sorters spåntyper som kan uppkomma vid skärande bearbetning. Figuren visar vilka spåntyper som är att föredra och vilka som bör undvikas.

Spån­brytningen beror på flertalet faktorer utöver duktiliteten, men denna materialparameter har ett stort bidrag till spånformen.

strip chip	tangle chip	flat helix chip	bevel helix chip	long cylindrical helix	short cylindrical chip	spiral helix	spiral chip	spiral curls	crumble chips
not desirable					good				
not desirable					passable				

Figur 5: Representation av de olika spåntyperna som produceras vid skärande bearbetning. (CopperDevelopment Association, 1992)

Ett stort problem vid bearbetning av mjuka material, såsom vissa kopparlegeringar, är att spånorna blir långa och trasslar in sig i både arbetsstycke och maskin. För att förhindra detta legeras materialen ofta med spånbrutande ämnen, det vanligast förekommande är i dagsläget bly.

4.2.4 Deformationshårdnande

När ett material utsätts för en tillräckligt stor mekanisk last kommer det att deformeras plastiskt, detta medför att materialet får en ökad hårdhet, vilket kallas för deformationshårdnande. Vid skärande bearbetning uppkommer detta fenomen då materialet utsätts för stora mekaniska laster under processen. Deformationshårdnandet påverkar främst spånbildningen under skärande bearbetning.

Sambandet mellan deformationshårdnande och spånbildning är vanligtvis att en högre grad av deformationshårdnande leder till att en större mängd energi krävs för att bryta spånor. Detta medför att processen, för material med hög grad av deformationshårdnande, kräver en högre specifik skärkraft för att vara möjlig att utföra.

För att beräkna ett materials deformationshårdnande egenskaper är en möjlighet att studera den relativa hållfasthetskvoten mellan arbetsmaterialets brottspänning σ_b och dess sträckgräns σ_s .

Ett uttryck som beskriver deformationshårdnandet, enligt diskussionen ovan, visas i Ekvation 6.

$$D_n = \frac{\sigma_b}{\sigma_s} \quad \text{Ekvation 6}$$

En hög sträckgräns och en låg brottspänning leder enligt ekvationen ovan till lågt deformationshårdnande. Det är positivt med ett lågt deformationshårdnande för att förslitningen av verktyget då minimeras under bearbetning.

4.2.5 Termisk ledningsförmåga

På grund av den höga friktion samt plastiska deformation som sker under skärande bearbetning bildas en stor del termisk energi. För att temperaturen inte ska skapa problem för processen krävs det att värme transporteras bort på ett effektivt sätt från ingreppsstället.

En hög temperatur kan få ett flertal negativa konsekvenser för en skärprocess, bland annat medför det ett större slitage på verktyg samt att ytan hos arbetsmaterialet kan bli påverkad negativt.

En hög värmeledningsförmåga leder lokalt till lägre temperatur vid ingreppsstället och därför är det positivt med god termisk ledningsförmåga hos både verktyg och arbetsmaterial.

Värmeledningsförmåga anges som watt per meter kelvin, det vill säga hur bra värmeledare ett material är.

Det finns ett starkt samband mellan att material som är elektriska isolatorer även är värmeisolerande. Dock finns det ett antal undantag, ett exempel är diamant som är en elektrisk isolator samtidigt som det är en god värmeledare.

Koppar, som är den största beståndsdel i mässing, har både en god värmeledningsförmåga samt elektrisk ledningsförmåga.

5 Litteraturstudie

Som tidigare nämnts innehåller ofta kopparlegeringar en andel bly för att underlätta vid formning samt skärande bearbetning. På grund av ekonomiska skäl är det svårt att helt utesluta blyanvändning inom industrin.

Då lagstiftningarna inte strikt har förbjudit användning av bly, har forskning på ämnet ej varit särskilt omfattande eftersom finansiering har saknats. Intresset för miljövänlig produktion har ökat på senare tid, till viss del beroende på att myndigheterna fått upp ögonen för tungmetaller såsom bly. De rekommenderade högsta nivåerna av bly har reviderats inom flera länder och därför borde nya lagstiftningar inte vara långt borta.

Lagstiftningarna i olika länder skiljer sig mycket åt, så även de material som normalt används till armaturkomponenter. Inom vissa länder är det mässing som används mest inom armaturindustrin, medan det i andra fall istället kan vara brons. De blyfria alternativen och forskningen på dessa, är därför till stor del indelat geografiskt.

En lagstiftning som har påverkat industrin till stor del är RoHS-direktivet. Detta är ett EU-direktiv som reglerar elektroniska produkter på marknaden, direktivet innebär att produkterna endast i begränsad utsträckning får innehålla tungmetaller och flamskyddsmedel. Direktivet trädde i kraft i januari 2003 och började gälla i juli 2006. Då forskningen till stor del är baserad på industrins behov går det att se en stor ökning i antal publicerade artiklar efter att direktivet har trätt i kraft. Det finns flertal förslag runt om i världen att minimera blyhalten i kopparlegeringar, påverkan av dessa förslag skulle möjligtvis kunna förutses med en studie på till exempel RoHS-direktivet.

En sammanställning av de artiklar som har publicerats inom området blyfria kopparlegeringar presenteras i detta avsnitt. Endast de artiklar som är intressanta för tillverkningsindustrin tas med.

På grund av begränsat med tid har sökningen begränsats till de databaser som är indexerade genom LUBsearch, vilket är ett sökverktyg utvecklat av Lunds Universitets bibliotek. Där ingår ett stort antal databaser som har relevanta vetenskapliga artiklar.

Artiklarna presenteras i bilaga 3 för att underlätta vid fortsatt arbete med blyfria kopparlegeringar.

Sedan 2000 kunde endast 25 artiklar hittas som direkt berörde blyfria kopparlegeringar samt var av intresse för tillverkningsindustrin. Då urvalet var så pass lågt är det svårt att se någon form av trend inom området. Industrin känner sig i dagsläget nöjda med de blyade legeringarna, detta då det inte finns någon direkt reglering mot dem.

Frågan om hur industrin påverkar miljön är större än någonsin och det finns flertalet lagförslag som innehåller riktlinjer för ett lägre blyinnehåll i kopparlegeringar. Ett försprång inom blyfria material kan därför leda till stor ekonomisk vinning för industrin i Sverige. (Boverket, 2012)

Många instanser har länge ignorerat blyinnehåll i legeringar, exempelvis UNEP har endast sedan 2003 jobbat aktivt för att minska andelen bly i miljön(www.unep.org). Då det är först de senaste 10 åren som de aktivt har arbetat med minimering av utsläpp kan detta vara en bidragande orsak till att forskningen på området inte varit särskilt utbredd.

Med tanke på den, minst sagt, bristfälliga forskningen som har utförts inom området finns det troligtvis stora förbättringar att göra. Dessa förbättringar gäller både process och arbetsmaterial.

En sökning efter material som har funnits tillgängliga som standard visar att blyfri mässing legerad med kisel har funnits i det före detta Sovjetunionen sen 1960-talet (Patent USSR GOST 15527-70, 1970). Det blyfria material som testas i detta arbete, Ecobrass (CW724R), är just kisellegerad mässing.

Det sovjetiska patentet medför att patentet som ligger till grund för Ecobrass möjligtvis skulle kunna kringgås.

6 Material

De olika materialsortersom används i arbetet är de som normalt används vid produktion hos MMA och ett blyfritt alternativ, CW724R. Samtliga sorter som kommer analyseras är: CW608N, CW614N, CW602N samt CW724R. Materialsorterna beskrivs mer noggrant i detta avsnitt. Se Tabell 1 för materialens sammansättning.

Materialsort	Cu (Wt%)	Zn (Wt%)	Pb (Wt%)	Si (Wt%)	As (Wt%)
CW608N	60	Rest.	2	-	-
CW724R	76	21	-	3	-
CW602N	62	Rest.	2	-	0.1
CW614N	58	Rest.	3	-	-

Tabell 1: Sammansättning för de testade legeringarna.

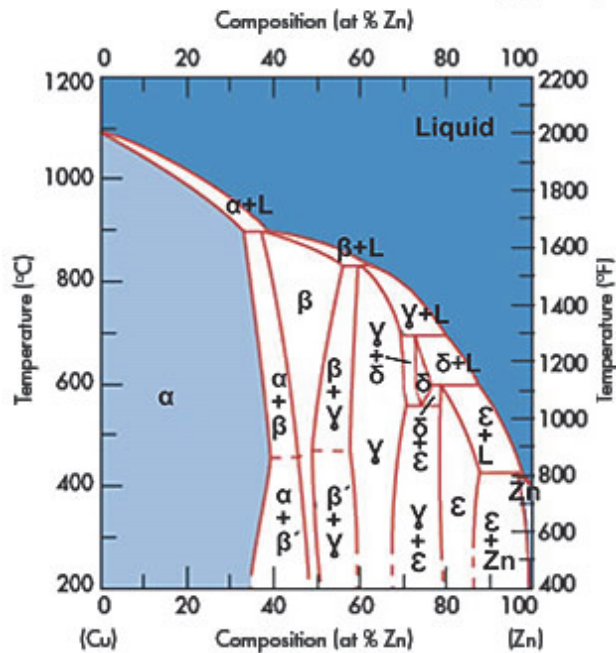
Då arbetet avser olika mässingslegeringar är det endast denna typ av material som kommer analyseras.

Mässing är en legering som till största delen består utav koppar och zink. Resterande legeringsämnen kan variera beroende på vilka specifika egenskaper man vill uppnå för materialet. Nedan presenteras ett fasdiagram i Figur 6 för koppar och zink då detta är de huvudsakliga komponenterna i mässing.

De vanligaste typerna av mässing är så kallad α (alfa)-, β (beta) och α - β mässing. Då zinkhalten i legeringen blir högre än 50 procent kallas mässingen för vit mässing och är för spröd för normal användning.

Vid kallbearbetning används α -mässing ofta då β -mässing endast passar till varmbearbetning eftersom β -mässing både är hårdare och starkare än α -mässing.

COPPER vs ZINC PHASE DIAGRAM (typical)



Figur 6: Fasdiagram för koppar-zink legering. (www.copper.org)

Det är vanligt att mässing legeras med andel bly, upp till cirka 3 viktprocent, för att materialet då uppvisar förbättrade skäregenskaper. Denna ökade skärbarhet beror på att bly lägger sig i korngränserna där det leder till en ökad spånbrytande effekt samt har en smörjande effekt.

För att skapa hög skärbarhet hos en mässingslegering som inte innehåller bly måste något annat ämne tillsättas istället. Kopparhalten brukar även ökas för att få en ökad skärbarhet, detta medför dock en ökad kostnad på legeringen. Exempel på tillsatssämnen är vismut och kisel. Kisel är det som används i CW724R för att öka skärbarheten. Studier har gjorts på legeringar innehållandes exempelvis kisel och visar att skärbarheten kan närma sig de blyade legeringarna. (Mohamed A. Taha, et al., 2012)

Ett stort problem med oblyade legeringar är att en hög skärbarhet ofta leder till förändrade materialegenskaper som inte är önskvärda. Beroende på tillämpning kan denna negativa effekt accepteras, dock kan till exempel ett väldigt sprött material vara svårt eller till och med omöjligt att gjuta eller plastiskt bearbeta på grund av de sprickor som uppstår vid kallbearbetning.

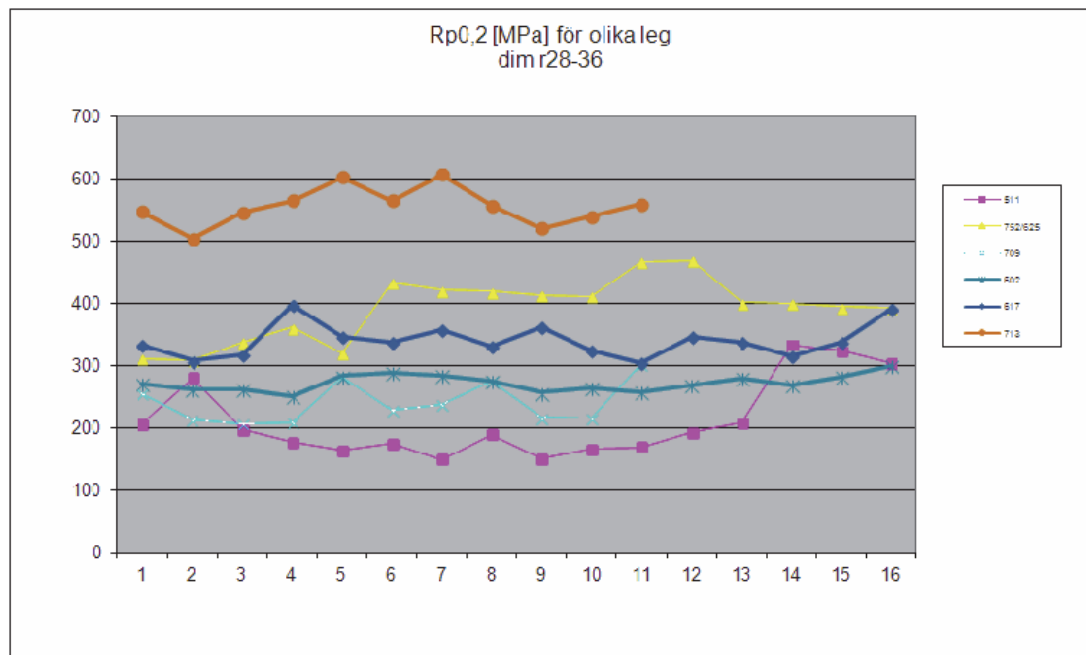
Legering med vismut leder till att mässingsblandningen blir sprödare (Hisashi Imai, et al., 2010) detta kan som tidigare nämnt leda till problem med sprickbildningar

och dyligt vid tillverkning. Armaturkomponenter har ofta höga krav på hållfasthet och tillförlitlighet, således är vismut inte särskilt lämpligt som legeringsämne där.

Det valda blyfria materialet som undersöks i denna studie (Ecobrass) är, enligt leverantören, ett bra substitut till de blyade legeringarna. De verkliga materialparametrarna måste kartläggas, med hjälp av experiment, för att det ska kunna fastställas huruvida detta påstående är sant.

Förväntade materialdata, vilka presenteras i detta avsnitt, är tagna från materialtabell (Wieland-Werke AG datablad, www.wieland.de) för varje enskilt material och är därför endast approximativa värden som utnyttjas för att kunna verifiera experimenten.

Nedan presenteras Figur 7 med framtagen sträckgräns för ett antal olika mässingssorter, data samt figur kommer från Nordic Brass. I figuren är CW713R den legeringen som sticker ut jämfört med de andra då den har signifikant högre sträckgräns än de andra materialen, detta är väntat då CW713R är framtagen med goda hållfasthetsegenskaper i åtanke. De övriga materialen är olika typer av blyade mässingslegeringar samt Ecobrass. CW713R är den enda legering som skiljer sig signifikant från de andra och därför borde sträckgränsen för Ecobrass, enligt denna källa, således vara jämförbar med de maskinbara blyade legeringarna.



Figur 7: Framtagen sträckgräns för ett antal mässingslegeringar, enheten på Y-axeln är MPa. Källa: Nilsson, J. (Nordic Brass), E-mejl, 2013-02-11.

På grund av den bristande informationen om testerna utförda hos Nordic Brass krävs egna tester för att säkerställa riktiga värden hos de olika legeringarna.

6.1 Förväntade materialdata

Teoretiska materialdata fås från Wielands datablad och presenteras nedan i Tabell 2. Denna källa väljs eftersom MMA till stor del har Wieland som leverantör samt att de är europeisk leverantör/distributör av Ecobrass. Då data är från samma källa kan de antas vara en tillförlitlig utgångspunkt vid rankning mellan materialen. Dock kan det vara svårt att dra några slutsatser från enskilda värden, flertalet parametrar beror på geometri hos provstycken och tidigare bearbetning. Notera att värdena gäller för normaliserade material.

Vid de fysiska testerna som utförs används material som har genomgått varmpressning och således har de något annorlunda materialvärden. Detta materialval är gjort då det är samma slags bearbetning som utförs innan den skärande bearbetningen sker hos MMA.

	Sträckgräns Rp0,2 (MPa)	Brottgräns Rm (MPa)	BrottöjningA5(%)	E- modul (GPa)	Hårdhet (HB)
CW608N	140	380	45	102	80
CW724R	410	700	20	100	190
CW602N	140	320	45	105	80
CW614N	180	340	40	96	90

Tabell 2: Referensdata för de olika mässingslegeringarna. (Källa: Wieland-Werke datablad).

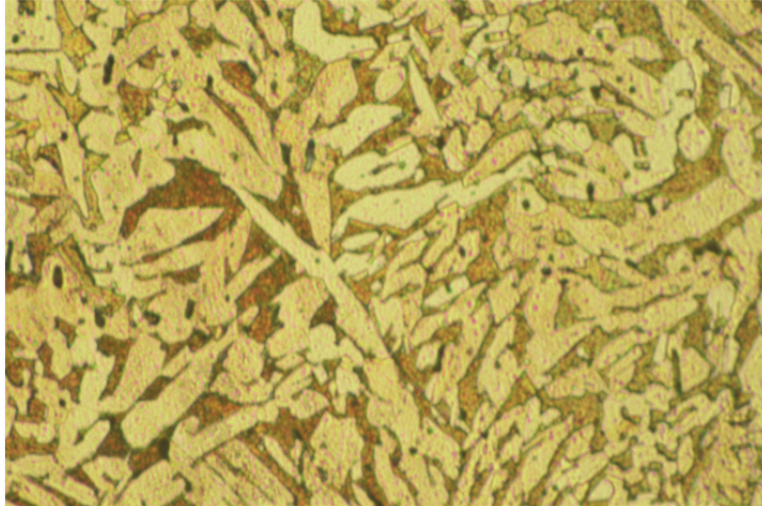
6.2 CW614N

CW614N väljs som referensmaterial då det är den vanligast förekommande legeringen som används vid skärande bearbetning i Europa. Legeringen rankas som den mest lättbearbetade typen av mässing inom industrin, det vill säga 100 procent maskinbarhet. (CopperDevelopment Association, 1992)

6.2.1 Mikrostruktur

CW614N är en så kallad alfa-beta mässing. Med detta menas att de strukturbeståndsdelar som utgör innehållet är både av alfa- och av beta-fas. Då materialet innehåller bly ligger detta som fria partiklar mellan korngränserna eftersom bly inte löser sig i någon av faserna.

I Figur 8 kan en mikrostrukturbild ses på CW614N tagen i samband med hårdhetsprover. De ljusare, nålformade partierna är så kallad alfa-fas och de mörkare partierna är beta-fas. Bly visar sig som svarta prickar, vilka vanligtvis hittas i korngränserna mellan alfa- och beta-fas då bly inte löser sig i faserna.



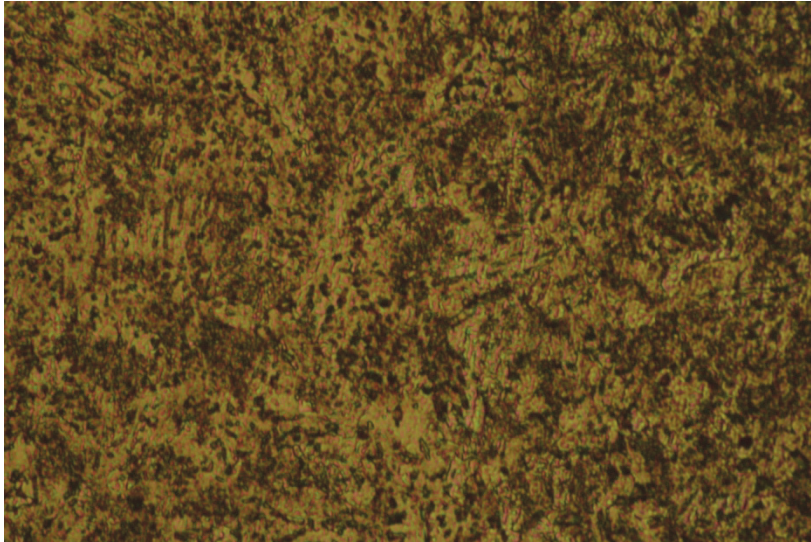
Figur 8: Mikrostrukturbild på CW614N, 400 gångers förstoring.

6.3 CW608N

CW608N används vid krav på god kallformbarhet och god skärbarhet (Nordic Brasskompendie: "Varmsmidning- och lågtrycksgjutning"). Maskinbarheten hos legeringen är förhållandevis hög, den anges som 80 procent av maximal skärbarhet, där legeringen CW614N definieras som 100 procent skärbarhet.

6.3.1 Mikrostruktur

CW608N är en alfa-beta mässing blandat med bly. Jämfört med referenslegeringen CW614N innehåller CW608N en större andel alfa-fas på grund av sitt lägre zinkinnehåll. Vid kallbearbetning är en större andel alfa-fas att föredra på grund av låg hårdhet i fasen, således är CW608N mer anpassat till kallbearbetning än de andra testade legeringarna.



Figur 9: Mikrostrukturbild av CW608N, 400 gångers förstoring.

6.4 CW724R

Legeringen marknadsförs under namnet Ecobrass, detta då den är helt blyfri. Tillverkare hävdar att CW724R har ett utmärkt beteende vid smidning, kallbearbetning och skärande bearbetning. Legeringen är jämförbar med de legeringar som innehåller bly vid bearbetning, exempelvis anges skärbarheten som 80 procent vid jämförelse med CW614N. Som nackdel kan nämnas att Ecobrass innehåller en högre andel koppar än de andra legeringarna, därför ökar kostnaden för legeringen.

6.4.1 Mikrostruktur

Tillsats av kisel till mässing leder till en minskad kornstorlek, stora förändringar i mikrostrukturen kan ses redan vid addering av 1 viktprocent kisel, en större ökning av kiselinnehåll leder till att nya faser inom strukturen bildas. De olika fasernas mikrohårdhet ökar med ökat kiselinnehåll.

I Ecobrass är innehållet av kisel 3 viktprocent. All tillsats av kisel över 1 viktprocent leder till en ökad mikrohårdhet hos materialet. Dock leder denna ökning av kisel till andra ändringar i makrostrukturen. Vid en ökning upp till 4 viktprocent kisel minskar både hållfastheten och duktiliteten hos materialet jämfört med en lägre andel kisel. Således leder detta till en ökning av skärbarheten då spånformningen förändras och spånorna får en acceptabel form vid bearbetning. (Mohamed A. Taha, et al., 2012)

Nedan visas Figur 10 som visar mikrostrukturen hos Ecobrass.



Figur 10: Mikrostrukturbild av Ecobrace(CW724R), 400 gångers förstoring.

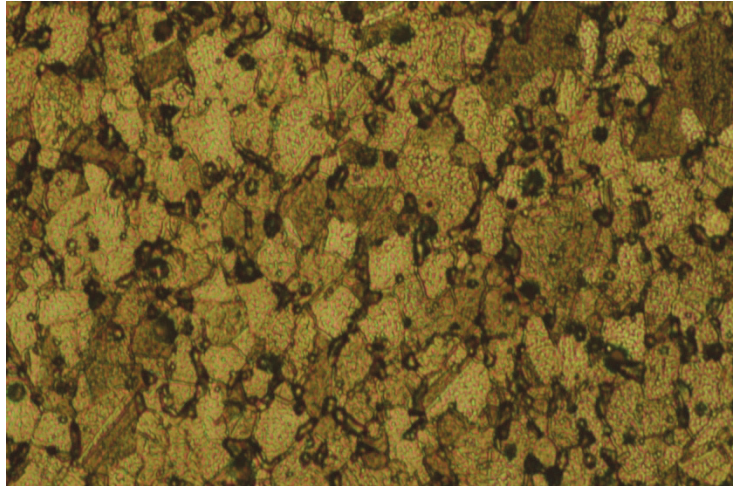
6.5 CW602N

CW602N är en avzinkningshårdig legering. Den används i stor utsträckning till armaturkomponenter som är i direktkontakt med vatten. Legeringen har en maskinbarhet som är jämförbar med CW614N, det vill säga referensmaterialet.

6.5.1 Mikrostruktur

CW602N innehåller endast en liten andel beta-fas, detta beror på att legeringen innehåller en större andel zink jämfört med de andra legeringarna.

Vid mikroskopering av CW602N kan ses att beta-fasen förekommer i mycket mindre utsträckning än alfa-fas. I en studie har uppmärksammats att endast cirka 4-5 procent beta-fas finns i legeringen.(Pantazopoulos, G. ,Vazdirvanidis, A., 2008)



Figur 11: Mikrostrukturbild av CW602N, 400 gångers förstoring.

6.6 Återvinning

Mässing är ett kretsloppsmaterial som återvinns i stor utsträckning, nästintill allt skrot som skapas vid tillverkning skickas till återvinning och smälts ner för att säljas på nytt.

Ett stort problem med de nyligen framtagna blyfria legeringarna är att de vid återvinning ej får blandas med blyade legeringar på grund av sammansättningen. Det finns ämnen, bland annat kisel, som påverkar en kopparlegering negativt redan vid så låga koncentrationer som 0,0004 procent (Makar, V.H., Riley, W.D, 1986). Detta skapar en extra kostnad vid återvinning eftersom man tidigare kunde samla alla mässingslegeringar för att sedan skicka dessa till återvinning.

För att återvinningen ska fungera effektivt krävs att nya metoder tas fram där hela kedjan, från råmaterial till återvinning tas hänsyn till. Detta gäller inte enbart mässing, utan det utvecklas hela tiden nya legeringar som försvårar arbetet vid återvinning.

I fallet med Ecobrass erbjuder sig Wieland att ta emot spånor från produktionen utan kostnad om mängden överstiger 5000 kg.

7 Materialtester

Ett antal försök utfördes för att ta reda på praktiska materialdata för de olika materialen. Med hjälp av dessa data kan en skärbarhet beräknas för materialet. Detta gör att materialen kan rangordnas vad gäller skärbarhet och det möjliggör beräkning av optimala skärdata vid byte av material i processerna.

7.1 Dragprov

Dragprov utfördes hos Industriellt Utvecklingscentrum(IUC) i Olofström.

Provet utgår från en standardiserad provkropp, ritningen för denna kan ses som bilaga 1.

Provkroppen pressades fram, under varmt tillstånd över rekristallations-temperaturen, från stångämne för att minimera påverkan på materialet, detta ledde till att proverna kunde utföras på ett material jämförbart med det som ska bearbetas med hjälp av svarvning hos MMA.

7.1.1 Utrustning

Utrustningen bestod av en dragprovmaskin, av märket MTS, samt en videoextensiometer. Videoextensiometern mäter töjningen i både axial- samt tvärled. För att få ytterligare information användes ett ARAMIS system. Detta system ger noggrann information om ett materials hållfasthet genom att analysera ett visst mönster som målas på provstaven innan testet.(www.gom.com)

Med hjälp av ARAMIS kan detaljerad information fås om specifika områden på provstaven. Specifika områden på provstavarna analyserades inte under testerna för att materialen antas vara homogena. Systemet användes dock till att verifiera resultaten som kunde utläsas från videoextensiometer.

7.1.2 Utförande

Provstaven förbereddes med två metallpinnar, vilka fästs på den smalare delen av provstaven med 40 mm avstånd från varandra, för att videoextensiometer skulle ha referenspunkter att utgå från.

Provstaven späades fast, på den bredare delen av staven, mellan backar i maskinen. Den bredare delen används för att brottet skall ske på den smalare delen av provstaven då det är där videoextensiometer kan tillgodose korrekt information om brottet. Avståndet mellan backarna valdes till 70 millimeter för att inspänningen inte får vara placerad över midjan samtidigt som tillräcklig inspänningskraft kunde erhållas.

Testerna utfördes enligt gällande standard SS-EN 10 002-1. Standard följs för att resultaten ska vara tillförlitliga. Den angivna standarden använder töjningshastigheten 0,0025 per sekund upp till sträckgränsen och hastigheten 0,008 per sekund i det plasticerande området. Testet avbröts då brott hade uppnåtts.

7.1.3 Resultat

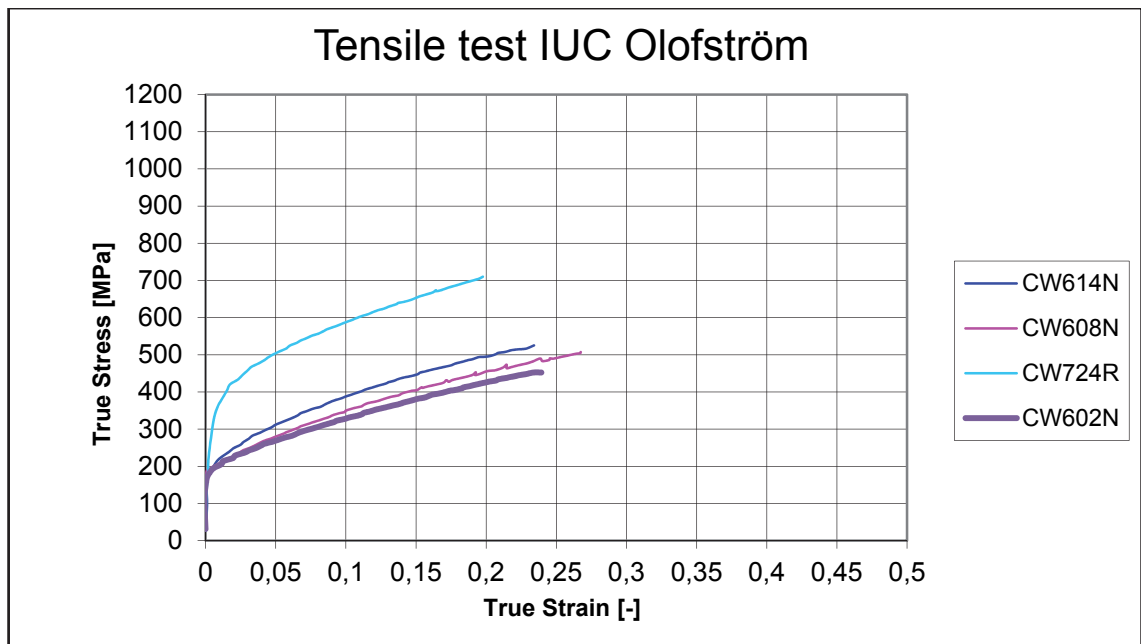
Data från dragproven processades i Excel med hjälp av ett makro framtaget av IUC, enligt deras standardutförande.

Resultaten från dragproven kan ses nedan i Tabell 3 samt Figur 12. Figur 12 visar hur den verkliga spänningen varierar avseende verklig töjning. Man kan i figuren se en klar skillnad mellan de olika materialen.

I **Fel! Hittar inte referenskälla.** återfinns numeriska värden på viktiga materialparametrar hos de olika materialen.

	Sträckgräns Rp0,2 (MPa)	Brottgräns Rm (MPa)	Brottöjning (%)
CW608N	195,8	508,2	30,6
CW724R	341,7	716,6	21,8
CW602N	187,3	452,6	26,5
CW614N	200,8	524,9	26,4

Tabell 3: Resultat från dragprov utförda vid IUC Olofström.



Figur 12: Resultat från dragprov utförda vid IUC Olofström.

Resultat för den verkliga spänningen mot den verkliga plastiska töjningen presenteras i bilaga 2.

I figuren kan ses att CW724R utmärker sig från de andra legeringarna vad gäller sträckgräns och brottgräns. Här har CW724R signifikant högre värde på både sträckgräns och brottgräns vilket även förväntades från värdena angivna av tillverkaren.

Dock skiljer sig dessa resultat från de värden som kan ses i Figur 7. Eftersom värdena stämmer med de som tillverkaren angivit fås testerna anses vara korrekt utförda.

7.2 Hårdhetsprov

Hårdhetsproven utfördes vid Lunds Tekniska Högskola.

Provmaterialet förbereddes genom polering, detta med slipmedel ner till kornstorlek på cirka 0,4 mikrometer. Poleringen följdes av etsning för att möjliggöra att strukturen ses på ett bra sätt i optiskt mikroskop. Denna preparering av materialen ledde till att tillförlitliga resultat kunde fås vid mikroskopering.

Då mikroskopering utförs kan man få en bra bild av hur strukturen hos materialet ser ut, detta underlättar mycket då hårdhetsprov görs. Om strukturen är känd är

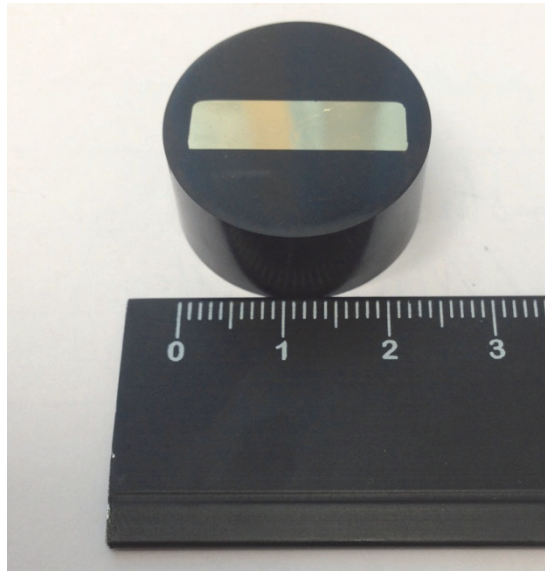
resultaten betydligt mer tillförlitliga från hårdhetsprovet samtidigt som det även ger en bättre bild hur de olika strukturbeståndsdelarna skiljer sig från varandra.

7.2.1 Utrustning

Utrustningen vid preparering av prover bestod av en värmeingjutningspress samt en kombinerad poler- och slipmaskin. Hårdhetsprov genomfördes enligt nanoindentering, där den applicerade kraften kan varieras. De mekaniska egenskaperna för testspetsen var väl kända.

7.2.2 Utförande

Prepareringen inleddes med att provbitar, från de fyra olika materialen, kapades i centimetertjocka bitar som genomgick värmeingjutning. Denna procedur inkapslar provbiten i ett plastmaterial för att det ska bli lättare att hantera proverna under slipningen. Exempelbild på provbit visas i Figur 13, breddvid provbiten är en centimeterlinjal placerad.



Figur 13: Bilden visar ett exempel på färdigpolerad provbit som används vid nanoindentering.

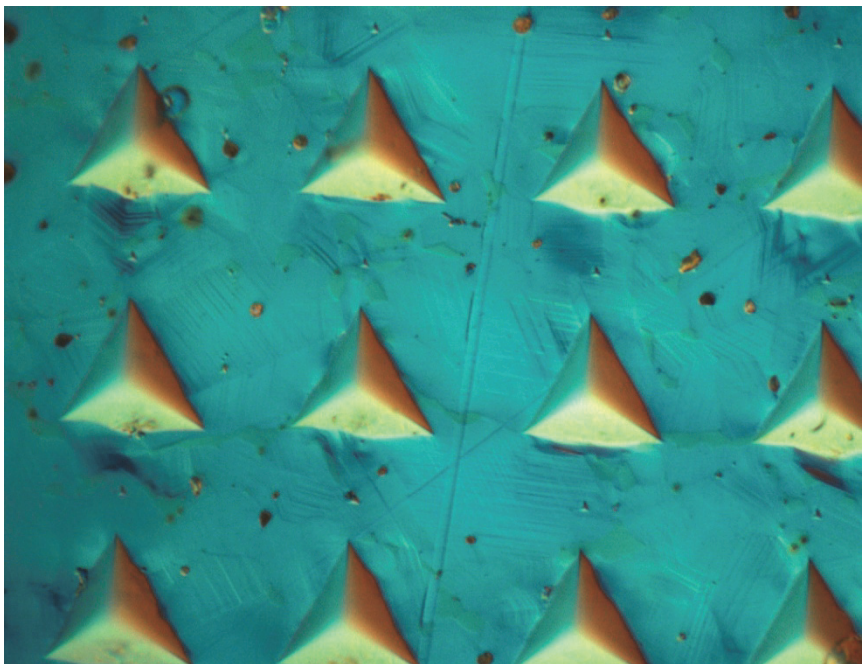
När provbitarna var inkapslade kunde arbetet med slipning påbörjas. För att rätt ytfinhet skulle uppnås på materialytan var slipning samt polering i flera steg nödvändigt. Sista poleringssteget innebar polering med slipmedel med kornstorlek på cirka 0.4 mikrometer. Efter detta steg var behandlingen färdig och både makro- och mikrohardhet kunde mätas genom tester.

Hårdheten mättes genom så kallad nanoindentering. Tillvägagångssättet är väldigt likt det vid vanlig hårdhetsmätning. En mycket hård spets, vars mekaniska data är

välkända, trycks in i materialet som skall testas. Detta görs till dess att en förutbestämd last har uppnåtts och den intryckta arean mäts. Från arean kan hårdheten bestämmas, även elasticitetskonstanten kan beräknas. Skillnaden mellan makro- och mikrohardhetsmätning (nanoindentering) är storleken på spetsen som används samt krafterna. Både kraften samt tjockleken på spetsen är mycket lägre vid mikro- än vid makrohardhetsmätning.

Två tester utfördes, ett med en mindre matris med tätare mellan punkterna och ett test med en större matris med längre avstånd mellan punkterna. Nanoindenteringen utfördes i fall 1 med 200 mN som last medan det senare utfördes med 100 mN som last.

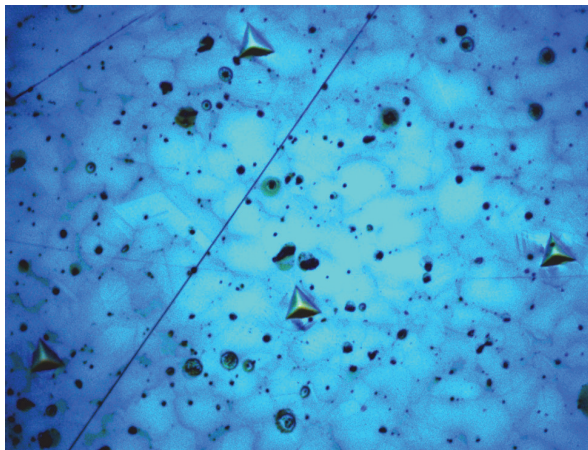
Nedan, i Figur 14, visas förstoring av mätområdet i material CW602N. De trianglar som ses är avtryck från spetsen hos testutrustningen. 64 mätpunkter togs för varje material för att få ett tillräckligt stort urval av data. Detta är fallet med en tätare matris, det kan ses att de zoner med plastisk deformation inverkar på resultatet då de sträcker sig från en punkt till en annan.



Figur 14: Mikroskopförstoring av utförd nanoindentering, omgång 1, i material CW602N.

I den andra testomgången valdes en matris med 100 punkter samt en lägre last. Detta ledde till att den plastiska deformationen från de enskilda groparna inte påverkade resultatet. En bild från denna indentering kan ses i Figur 15. I figuren kan ses att de plastiska deformationszonerna inte är nära att interferera med några

punkter utom sin ursprungspunkt, därför borde korrekta resultat fås från denna testomgång.



Figur 15: Mikroskopförstoring av utförd nanoindentering, omgång 2, i material CW602N.

7.2.3 Resultat

Vid en första testomgång valdes för täta punkter vid indenteringen. Detta ledde till att den plastiska deformationen hos de individuella groparna invercade på varandra vid mätningen, vilket kan ses i Figur 14. Således erhöles ett högre värde på hårdheten på materialet än vad som egentligen är riktigt. Resultaten presenteras som medianvärden av hårdheten i Tabell 4, även den reducerade elasticitetskonstanten redovisas. Resultaten för hårdheten visas i sin helhet som grafer i bilaga 4. Här kan ses att CW724R är signifikant hårdare än de andra materialen, medianvärdet närmar sig det dubbla mot de resterande legeringarna. De blyhaltiga legeringarna har liknande hårdheter och ingen signifikant skillnad kan utläsas mellan dem från de resultat som har framkommit.

	Medianvärde mikrohårdhet (GPa)	Medianvärde reducerad elasticitetskonstant (GPa)
CW724R	2,97	130,2
CW614N	1,86	129,2
CW602N	1,47	133,6
CW608N	1,59	130,1

Tabell 4: Resultat från nanoindentering.

7.3 Polära diagram

Resultaten från experimenten sammanställdes i ett polärt diagram för att på ett grafiskt vis påvisa skillnaden mellan materialen. Rent generellt är de material som har stor area i det polära diagrammet mer svårbearbetade än de med liten area.

För att på ett lätt sätt kunna jämföra placerades materialen i samma diagram enligt Figur 16. Data för det polära diagrammet kan ses i Tabell 5.

	Duktilitet (eb,%)	Deformationsmotstånd (Dn)	Termisk ledningsförmåga (W/mK)	Hårdhet (GPa)	Abrasivitet (Rel. skala 0-10)
CW608N	30,6	2,60	109	1,59	5
CW724R	21,8	2,10	35	2,97	8
CW602N	26,5	2,41	114	1,47	5
CW614N	26,4	1,17	113	1,86	5

Tabell 5: Materialdata som används vid framtagning av polära diagram.

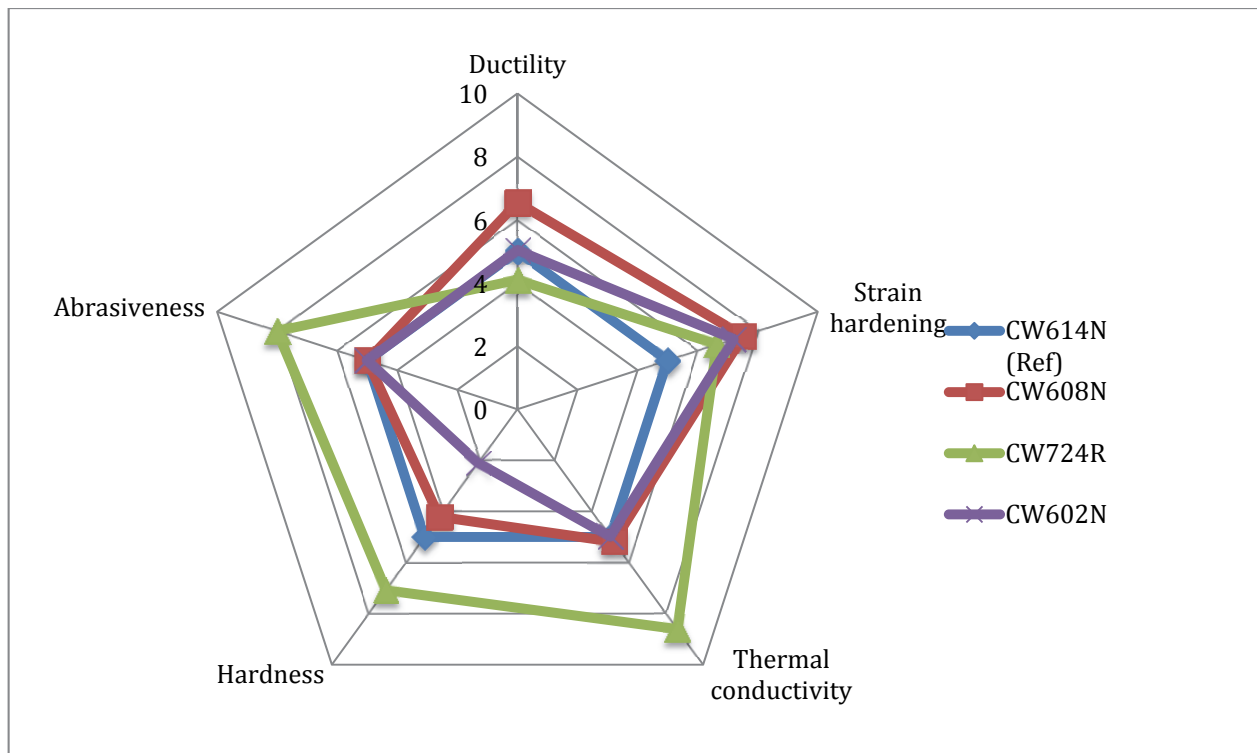
I tabellen kan ses att CW724R skiljer sig signifikant från de andra legeringarna för ett antal materialdata. Detta leder till att de polära diagrammen förväntas se olika ut för CW724R jämfört med de andra materialen.

Duktiliteten, deformationsmotståndet och hårdheten kommer från egna tester.

Datan för den termiska ledningsförmågan kommer från leverantörens datablad.

Abrasiviteten är en uppskattning från erfarenhet vid småskaliga tester hos MMA. Detta bör utökas med svarstester för att få en mer korrekt bild, dock är Ecobross mycket mer abrasiv än de blyade legeringarna.

De material som har en liknande area samt mönster borde kunna bearbetas på liknande vis, detta är ett bra sätt att utvärdera vilka startvärden man bör ha i en skärprocess.



Figur 16: Polära diagram över de undersökta materialen i projektet.

I det polära diagrammet i Figur 16 kan ses att de tre blyade legeringarna: CW614N, CW608N och CW602N följer liknande mönster även om referenslegeringen utmärker sig som den mest lättbearbetade legeringen. Det kan noteras att de olika legeringarna har samma värde på abrasivitet, detta beror på att det inte på ett tillförlitligt sätt har gått att fastställa värden på detta.

De materialdata som skiljer sig mest mellan den blyfria legeringen och de blyade är hårdheten och den termiska konduktiviteten. Detta leder till svårigheter vid bearbetning av CW724R då liknande skärdata används som vid bearbetning av blyade legeringar. Därför behöver skärdata samt verktyg förändras för att samma produktionstakt ska kunna uppnås då Ecobrass bearbetas.

8 Slutsatser

Tanken med examensarbetet var att komma fram till nya arbetsmaterial och processer. På grund av den begränsade tid som ett examensarbete innebär har endast en del av detta kunnat genomföras. Materialstudien har varit omfattande och bör ses som en grund för vidare arbete.

Litteraturstudien visade att det endast finns ett fåtal hållbara blyfria alternativa legeringar som kan användas vid skärande bearbetning. Det visar sig att mycket små tillsatser kan leda till kraftigt förändrade materialegenskaper. Till exempel kisel är ett sådant legeringsämne som påverkar mässing redan vid en liten koncentration. Studien visar att om hänsyn tas till prissättning samt korrosionsmotstånd är det enda kommersiella alternativet CW724R, det så kallade Ecobrass. Ett alternativ till Ecobrass är att framställa en egen liknande legering, detta borde vara möjligt då blyfri mässing legerad med kisel har varit standard i Ryssland (före detta Sovjetunionen) sedan 1970. Eftersom det har varit standard borde inte ett patent för Ecobrass vara tillräckligt starkt för att förhindra ett arbetsmaterial speciellt framtaget för skärande bearbetning.

De utförda materialtesterna ger värden på de materialegenskaper som är viktiga vid skärande bearbetning. Här kan ses att Ecobrass har skilda egenskaper i många avseenden jämfört med de andra materialen. Samtliga egenskaper, utom duktilitet, leder till en försämrad skärbarhet för materialet. Då de experimentella värdena jämförs med de teoretiska värdena kan ses att de stämmer väl överrens, om man ser till differensen mellan materialen, vilket kan vara en god indikation på att testerna är riktigt utförda.

Tanken var att, med hjälp av tester skilda från skärprocessen, komma fram till en skärbarhet hos materialen och på så sätt kunna jämföra nya material med beprövade sorter. Detta har gjorts genom att rita polära diagram över materialegenskaperna. Ecobrass visar sig ha en sämre skärbarhet än de andra testade legeringarna då arean i grafen är större för detta material. De materialparametrar som skiljer sig mest är hårdhet och termisk konduktivitet. Dessa kraftigt ökade materialparametrar ställer högre krav på verktyget och därför är det naturligt att titta på en ny verktygssort för bearbetning av Ecobrass.

Då svarstester ej har utförts saknas en viktig del för att kunna föreslå förändringar som bör göras i skärprocessen. Fortsatt arbete bör därför i första hand fokusera på att utföra svarstester för att kartlägga hur Ecobrass beter sig i en verklig produktionsprocess. Den slutsatsen som går att dra av de gjorda materialtesterna är att verktyget behöver ha en högre hårdhet samt varmhållfasthet för att samma skärdata ska kunna användas för Ecobrass jämfört med de blyade legeringarna. Livslängdskriterium bör tas fram för olika typer av verktygssorter för att hitta ett optimalt verktyg.

De polära diagrammen visar att materialegenskaperna för Ecobross är olik de från konventionell mässing. Detta medför att man bör titta på skärprocessen från en ny synvinkel och hantera Ecobross som ett nytt material jämfört med mässing.

Även om Ecobross innebär en försämring vad gäller skärbarhet finns det fördelar med de förändrade egenskaperna i andra avseenden. En ökad hållfasthet jämfört med de blyade legeringarna leder till att produkterna kan konstrueras på ett nytt vis samtidigt som de behåller samma egenskaper. Tunnare gods bör kunna användas i flertalet fall och då sparas en andel material vilket borde leda till en kostnadsminskning om produkterna viktoptimeras.

Resultaten är inte fullständiga utan ytterligare tester kommer att krävas för att kunna utröna huruvida Ecobross är ett ekonomiskt hållbart alternativ. Något som ej har diskuterats i arbetet är det potentiellt ökade värdet i att ha en miljövänlig produkt. Rent marknadsföringsmässigt kan en blyfri produkt ha stora fördelar.

För att kunna beräkna en detaljkostnad krävs större kännedom om de ekonomiska aspekterna, därför krävs en ekonomisk analys av tillverkningsprocessen.

Ett fortsatt arbete kommer att behövas för att nå fram till det slutgiltiga målet i form av en nationell demonstrator.

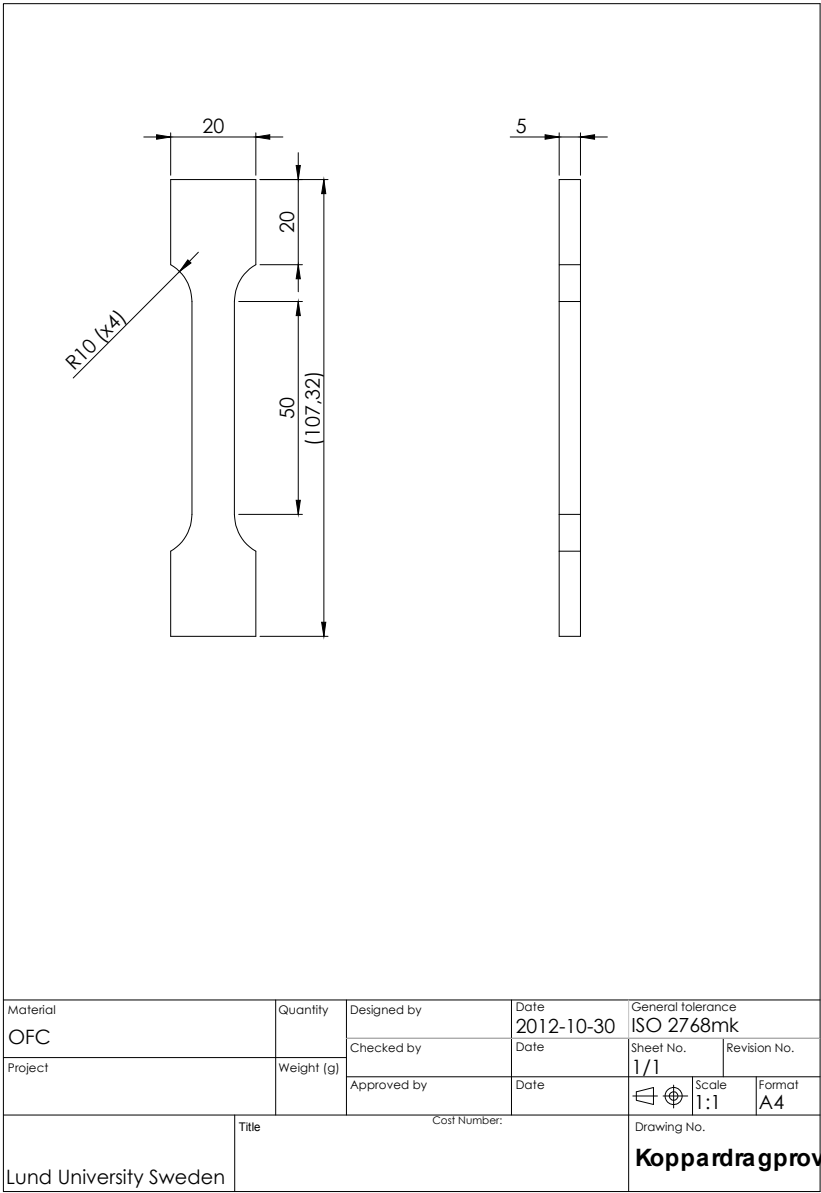
Det som kan sammanfattas från detta examensarbete är att Ecobross verkar vara ett material som har potential som en miljövänlig ersättare vid skärande bearbetning. Fortsatt utredning krävs för att nå fram till en blyfri lösning som kan användas istället för de blyade legeringarna.

Litteraturförteckning

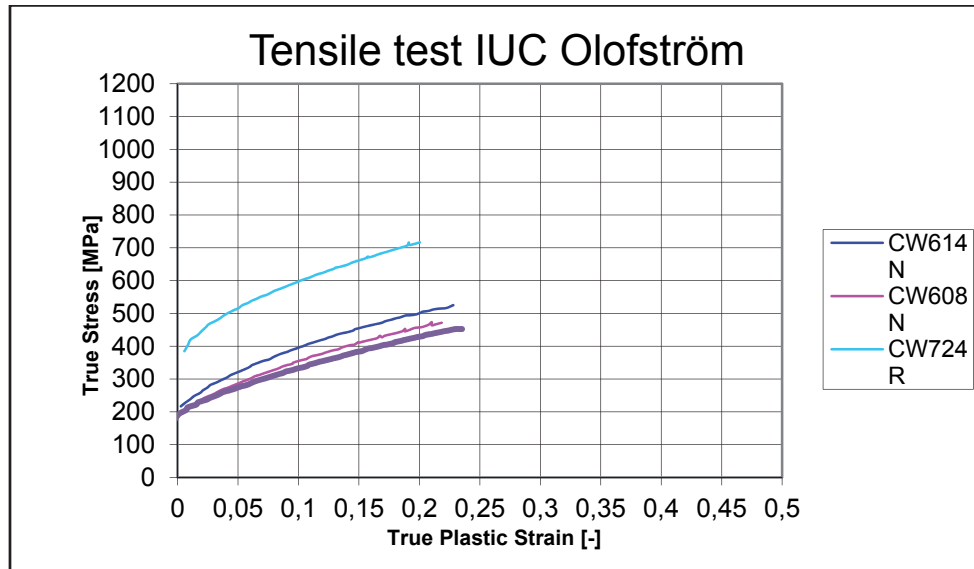
1. **Ståhl, Jan-Eric.** *Industriella Tillverkningsystem del II - Länken mellan teknik och ekonomi.* Lund: Avdelningen för Industriell Produktion, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, 2013.
2. **Colding, B.N.** *A Tool-Temperature/Tool-Life Relationship Covering a Wide Range of Cutting Data.* u.o. : Annals of the CIRP 1991. Vol 40.
3. **Ståhl, Jan-Eric.** *Metal Cutting - Theories and models.* Lund: Avdelningen för Industriell Produktion. Lunds universitet 2012.
4. **Boverket.** *Konsekvensutredning - Revidering av Boverkets byggregler, BBR.* Karlskrona: Boverket, 2012.
5. Nordic Brass (Mailkonversation)
6. *Skärande bearbetning.* u.o. :OutoKumpoNordic Brass, Scandinavian CopperDevelopment Association 2000.
8. *Detta är hårdmetall.* u.o. : Sandvik Hard Materials
9. **Colding, B.N.** *The machining productivity mountain and its wall of optimum productivity.* Dearborn: Society of Manufacturing Engineers, 1980.
10. **Andersson, M., Avdovic, P., Ståhl, J-E., Xu, L.** *Evaluating the Machinability of Inconel 718 Using Polar Diagrams.* u.o. : Journal of Engineering for Gas Turbines and Power 2011, Vol. 133.
11. *Recommended machining parameters for copper and copper alloys.* Düsseldorf: German Copper Institute 2010.
12. *Cost-Effective Manufacturing Machining Brass, Copper and its Alloys.* u.o. : Copper Development Association, 1992.
13. *Lead and cadmium.* u.o. : United Nations Environment Programme.
<http://www.unep.org/hazardoussubstances/Home/tabid/197/hazardoussubstances/LeadCadmium/tabid/29372/Default.aspx> (Hämtad 2013-10-17)
14. *State Standard of the USSR - GOST 15527-70: Copper zinc pressure treated alloys (brasses).* (Antaget i Sovjetunionen 1 Juli 1970)
15. *Copper-Zinc phase diagram.* u.o : Copper Development Association http://www.copper.org/publications/newsletters/innovations/2006/03/images/cuzn_phase.jpg (Hämtad 2013-09-11)
16. **Mohamed A. Taha, Nahed A. El-Mahallawy, Rawia M. Hammouda, Tarek M. Moussa, Mohamed H. Gheith.** *Machinability characteristics of lead free-siliconbrass alloys as correlated with microstructure and mechanical properties.* Cairo: Faculty of Engineering, 2012.
17. Hisashi Imai, Sufeng Li, Haruhiko Atsumi, Katsuyoshi Kondoh, Yoshiharu Kosaka, Akimichi Kojima. *Effect of Bismuth Addition on Machinability and Mechanical Properties of Lead-Free Brass via Powder Metallurgy Process.* u.o. : Steel Research int. 81 No. 9, 2010
18. *Wieland-Werke AG datablad: Da_z_SW1 (CW724R), DA_z_Z21 (CW608N), DA_z_Z32_Z33 (CW614N), DA_z_Z45_Z46 (CW602N).* o.u. : Wieland-Werke AG, www.wieland.de (Hämtade 2013-05-24).
19. *Varmsmidning- och Lågtrycksgjutning.* u.o. :OutoKumpo Nordic Brass, 2000

20. **Pantazopoulos, G. ,Vazdirvanidis, A.,***Characterization of the Microstructural Aspects of Machinable a-b Phase Brass*, Aten: ELKEME Hellenic Research Centre for Metals,2008
21. **Makar, V.H., Riley, W.D.,***Impurity effects in secondary copper alloys*, u.o. : Conservation and Recycling Vol. 9, No. 4, pp 315-323, 1986
22. *Aramis - Optical Deformation Analysis*, u.o. : GOM, Optical Measuring Techniques <http://www.gom.com/metrology-systems/system-overview/aramis.html>(Hämtad2013-09-24)

Bilaga 1



Material OFC	Quantity	Designed by	Date 2012-10-30	General tolerance ISO 2768mk	
Project	Weight (g)	Checked by	Date	Sheet No. 1/1	Revision No.
		Approved by	Date	Scale 1:1	Format A4
Lund University Sweden	Title	Cost Number:		Drawing No. Koppardragprov	



Den verkliga spänningen mot den verkliga plastiska töjningen syns i grafen, det vill säga hur materialet beter sig i det plastiska området.

Bilaga 3

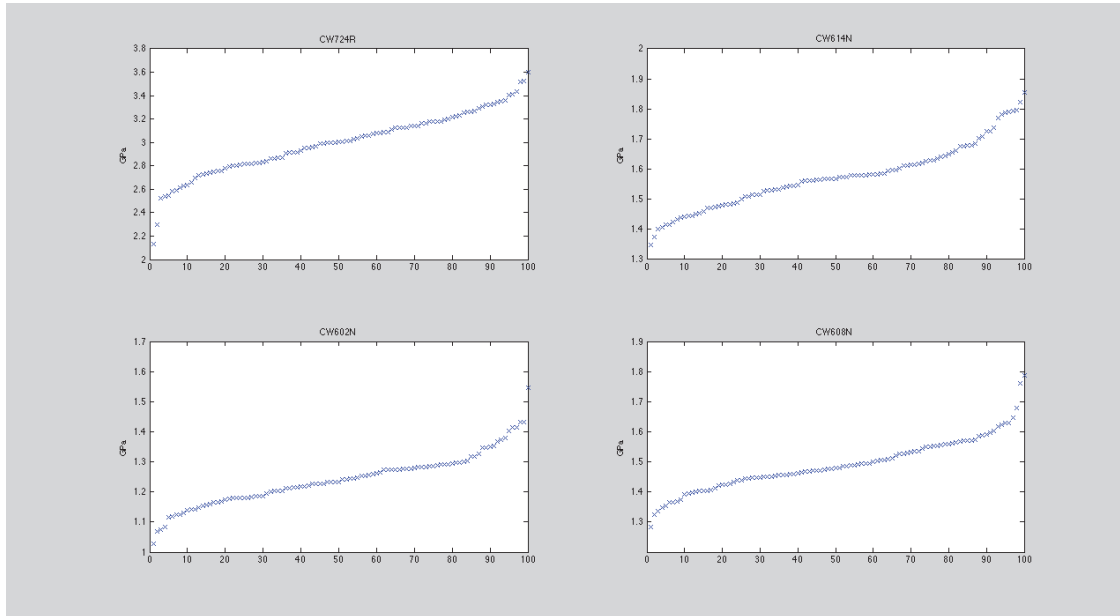
Titel	Källa	Författare
LCA of manufacturing lead-free copper alloys	JOURNAL OF THE JAPAN INSTITUTE OF METALS; OCT, 2007, 71 10, p885-p889, 5p.	Nakano, A Rochman, NT Sueyoshi, H
Machinability characteristics of lead free-silicon brass alloys as correlated with microstructure and mechanical properties.	Ain Shams Engineering Journal; Dec 2012, Vol. 3 Issue 4, p383-392, 10p	Taha, Mohamed A. El-Mahallawy, Nahed A. Hammouda, Rawia M. Moussa, Tarek M. Gheith, Mohamed H.
Dependence of tin whisker growth on copper and oxygen content on the surface of tin-rich leadfree alloys	ActaPhysicaPolonica A, Proceedings of the 2nd International Congress on Advances in Applied Physics and Materials Science (APMAS2012). (Acta PhysicaPolonica A, February 2013, 123(2):430-431)	Skwarek, A. Witek, K. Pluska, M. Czerwinski, A.
DEVELOPMENT OF A LEAD-FREE BEARING MATERIAL FOR AEROSPACE APPLICATIONS.	International Journal of Metalcasting. 2010, Vol. 4 Issue 1, p19-30. 17p.	Thomson, J. Zasadil, R. Sahoo, M. Dadouche, A. Dmochowski, W. Conlon, M.
Evaluation of melt quality of lead free copper alloy castings using cooling curve.	International Journal of Cast Metals Research. 2008, Vol. 21 Issue 1-4, p144-147. 4p. 1 Color Photograph, 2 Diagrams, 4 Charts, 4 Graphs.	Okane, T. Mawin, S. Wantanee, S. Suvanchai, P. Fujii, T. Ozasa, T. Kobayashi, H. Tanaka, T. Umeda, T.
High-strength, lead-free machinable α - β duplex phase brass Cu-40Zn-Cr-Fe-Sn-Bi alloys.	Materials Science & Engineering: A. Nov2011, Vol. 529, p275-281. 7p.	Atsumi, Haruhiko Imai, Hisashi Li, Shufeng Kondoh, Katsuyoshi Kousaka, Yoshiharu Kojima, Akimichi

Dezincification corrosion resistance and microstructure of lead-free free-cutting copper alloy "75.5Cu-3Si-0.1P-Zn"	JOURNAL OF THE JAPAN INSTITUTE OF METALS; MAY, 2003, 67 5, p219-p225, 7p.	Oishi, K Tanaka, S Goto, Y
Cold shut formation analysis on a free lead yellow brass tap.	Engineering Failure Analysis. Sep2010, Vol. 17 Issue 6, p1285-1289. 5p.	Vazquez, V. Juarez-Hernandez, A. Mascarenas, A. Zambrano, P. Hernandez-Rodriguez, M.A.L.
Corrosion and dealloying of cast lead-free copper alloy-graphite composites	CORROSION SCIENCE; SEP, 2000, 42 9, p1553-p1571, 19p.	Rohatgi, PK Nath, D Kim, JK Agrawal, AN
Removal of lead from copper alloy scraps by compound-separation method	Nippon Kinzoku Gakkaishi/Journal of the Japan Institute of Metals. (Nippon Kinzoku Gakkaishi/Journal of the Japan Institute of Metals, May 2007, 71(5):476-481)	Nakano, A. Sueyoshi, H. Rochman, N.T.
Friction and wear behavior of a centrifugally cast lead-free copper alloy containing graphite particles	Metallurgical and Materials Transactions A: Physical Metallurgy and Materials Science. (Metallurgical and Materials Transactions A: Physical Metallurgy and Materials Science, August 2001, 32(8):2115-2125)	Kestursatya, M. Kim, J.K. Rohatgi, P.K.
Lead-free copper alloy endures high loads in piston bushings.	Advanced Materials & Processes. Nov2006, Vol. 164 Issue 11, p34-34. 1/5p.	Pierre Olivier Santacreu (Ugine&Alz Research Center, France)
Corrosion Resistance of Lead Free Copper Alloy	JOURNAL- SURFACE FINISHING SOCIETY OF JAPAN; 2008, 59(PART 10):690-695 Pub: Japan, SURFACE FINISHING SOC JAPAN, 2008	Wada, H., Tomikawa, T., Ichino, R., Okido, M.
Mitigating Lead in Copper Alloys for Drinking Water Applications.	Foundry Management & Technology. Mar2005, Vol. 133 Issue 3, p59-62. 4p.	Sadayappan, Kumar

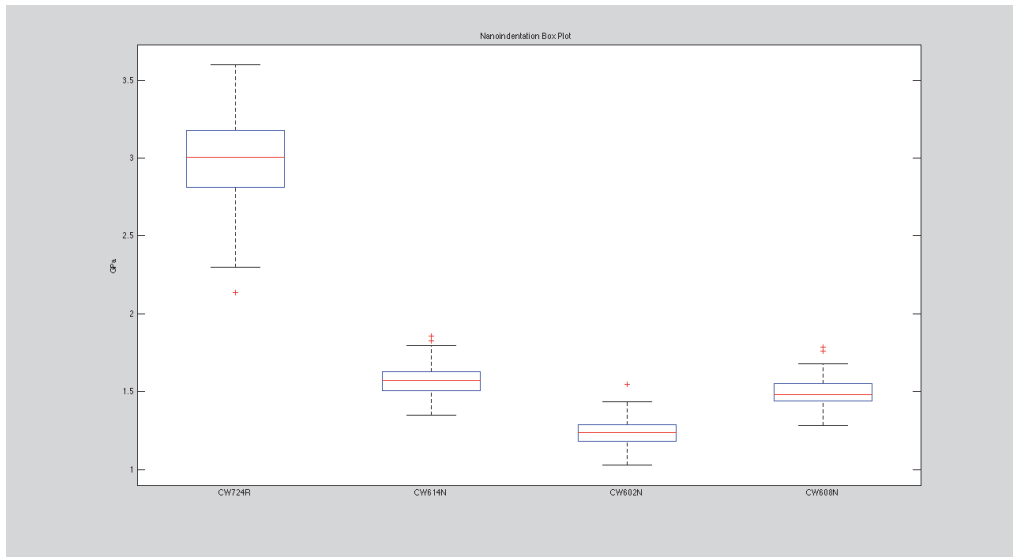
Interpretation of evaporation behavior of lead from molten copper by the mass-transfer model in fluid flow	METALS AND MATERIALS INTERNATIONAL; JUN, 2005, 11 3, p233-p240, 8p.	Jung, WG Sohn, HS
Fabrication and properties of lead-free machinable brass with Ti additive by powder metallurgy	Powder Technology, 2010, Vol. 205, Issue 1-3, p. 242-249	Li, Shufeng Kondoh, Katsuyoshi Imai, Hisashi Atsumi, Haruhiko
Wear and mechanical properties of carbon fiber reinforced copper alloy composites.	Materials Characterization. May2009, Vol. 60 Issue 5, p363-369. 7p.	Xia, Long Jia, Binbin Zeng, Jun Xu, Jincheng
Compositional distributions in classical and lead-free brasses	MATERIALS CHARACTERIZATION; DEC, 2006, 57 4-5, p424-p429, 6p.	La Fontaine, A Keast, VJ
COPPER: Growth Through New Technology.	Advanced Materials & Processes. Jun2003, Vol. 161 Issue 6, p39. 3p.	Kundig, Konrad
Wear performance of copper-graphite composite and a leaded copper alloy	MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING A-STRUCTURAL MATERIALS PROPERTIES MICROSTRUCTURE AND PROCESSING; JAN 2, 2003, 339 1-2, p150-p158, 9p.	Kestursatya, M Kim, JK Rohatgi, PK
Lead-free brass alloys seek new markets	Foundry Management & Technology, 2002, Vol. 130, Issue 7, p. 8,9	Peters, D.M.
California's AB1953 turns on the tap for 'green' alloys.	American Metal Market. Jul2009, Vol. 118 Issue 5, p22-23. 2p. 2 Color Photographs.	Riley, Anne
Characteristics and machinability of lead-free P/M Cu60-Zn40 brass alloys dispersed with graphite	Powder Technology. (Powder Technology, 25 March 2010, 198(3):417-421)	Imai, H. Li, S. Kondoh, K. Umeda, J. Kosaka, Y. Kojima, A. Atsumi, H.

Microstructure and castability of lead-free silicon brass alloys	MATERIALWISSENSCHAFT UND WERKSTOFFTECHNIK; AUG, 2012, 43 8, p699-p704, 6p.	Taha, MA E-Mahallawy, NA Mousa, TM Hamouda, RM Yousef, AFAG
Effect of Bismuth Addition on Machinability and Mechanical Properties of Lead-Free Brass via Powder Metallurgy Process	STEEL RESEARCH INTERNATIONAL; SEP, 2010, 81 9, p1296-p1299, 4p.	Imai, H Li, SF HaruhikoAtsumi Kondoh, K Kosaka, Y Kojima, A

Bilaga 4



Figur 17: Resultat från nanoindentering, 100 mätpunkter.



Figur 18: Boxplot av resultat från nanoindentering omgång 2.

