



UvA-DARE (Digital Academic Repository)

Het geheim van de smid

Leenheer, R.; Helle, G.

Published in:

Mededelingenblad Vereniging van Vrienden van het Allard Pierson Museum

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Leenheer, R., & Jurriaans-Helle, G. (2007). Het geheim van de smid. Mededelingenblad Vereniging van Vrienden van het Allard Pierson Museum, 95/96, 2-4.

General rights

It is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), other than for strictly personal, individual use, unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

Disclaimer/Complaints regulations

If you believe that digital publication of certain material infringes any of your rights or (privacy) interests, please let the Library know, stating your reasons. In case of a legitimate complaint, the Library will make the material inaccessible and/or remove it from the website. Please Ask the Library: <http://uba.uva.nl/en/contact>, or a letter to: Library of the University of Amsterdam, Secretariat, Singel 425, 1012 WP Amsterdam, The Netherlands. You will be contacted as soon as possible.

HET GEHEIM VAN DE SMID

RON LEENHEER, GERALDA JURRIAANS-HELLE

De mens is altijd op zoek geweest naar werktuigen gemaakt van harde materialen voor bezigheden waar hijzelf niet sterk genoeg voor was, of dat nu het bewerken van grond was of het doden van dieren of mensen. In de Oude Steentijd (250.000 - 10.000 voor Christus) gebruikte men stenen sikkels, bijlen en pijlpunten en met houten werktuigen. Daarnaast werd de reikwijdte van de armen verlengd door stelen en zelfs door het gebruik van langeafstandswapens als speren en pijl en boog. Rond 3000 voor Christus werd in het Nabije Oosten brons ontdekt als materiaal waarvan wapens en werktuigen gemaakt konden worden. Dit was een technologische revolutie die een enorme invloed zou hebben op het leven van alledag.

afb. 1
Kaart met
belangrijkste koper-
en tingebeden

● koper
● tin

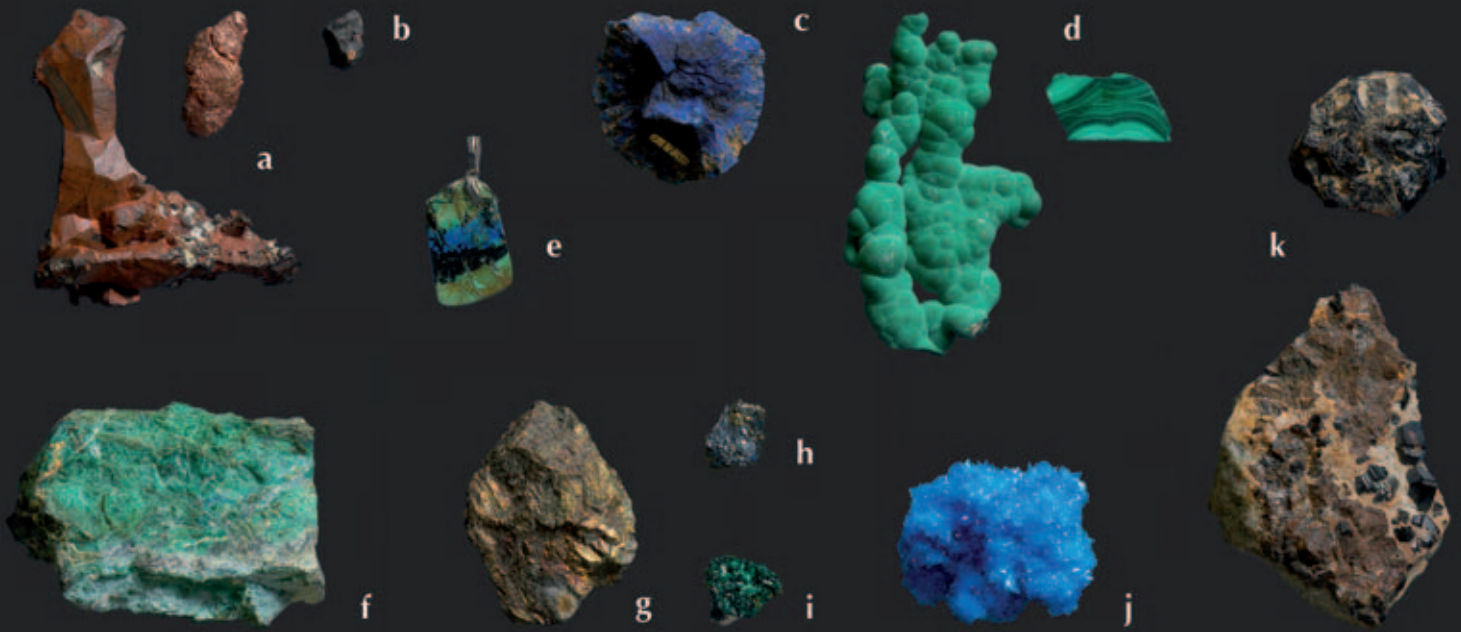


KOPER

Brons is niet het oudste metaal dat bewerkt werd. In Zuid- en Oost-Anatolië en ook in Syrië en Iran zijn koperen gereedschappen gevonden die rond 6500 voor Christus gemaakt moeten zijn. Koper is een metaal dat enerzijds zo zacht is dat het, indien het regelmatig verhit wordt, vrij eenvoudig in model te hameren is. Anderzijds heeft puur koper een zo hoog smeltpunt dat het moeilijk te gieten is. Een van de belangrijkste kopermijngebieden in de oudheid was Cyprus. Ons woord 'koper' (Cu) is van de naam van dit eiland afgeleid. Daarnaast waren de gebieden bij de Perzische Golf, Oost-Turkije, de Sinai en de Egyptische woestijn belangrijke wingebieden (**afb. 1**).

PRIMAIR KOPER

In de natuur komt (bijna) honderd procent puur koper soms voor als rode tot bruine korrels en brokjes in rivierafzettingen. In deze staat heet het metaal 'gedegen', van nature puur. Dit pure metaal is gemakkelijk te hameren zonder het te hoeven smelten. Zelfs kunnen meerdere brokjes tot één klomp worden gehamerd. Maar als koper te lang gehamerd wordt, wordt het bros en kan het voorwerp in wording uit elkaar spatten. Tussentijdse verhitting (zonder smelten) gevolgd door langzame afkoeling zorgt ervoor dat het voorwerp weer buigzaam wordt en verder kan worden bewerkt. Dit pure koper komt niet voldoende voor om aan de vraag te voldoen.



SECUNDAIRE KOPERMINERALEN

Gelukkig komt koper ook voor in kleurige mineralen waar het door een chemisch proces uit gehaald kan worden. Van deze mineralen zijn de geoxideerde varianten het eenvoudigst tot koper te maken door de zuurstof eraan te onttrekken. Dit reduceren gebeurde in kleine ovens. Hierin werden laagjes houtskool en vergruisd erts afwisselend op elkaar gelegd en vervolgens werd er maar weinig zuurstof toegevoerd. Daardoor verbrandde de houtskool onvolledig en ontstond er koolmonoxide ('kolendamp') dat vervolgens zuurstof uit het koperoxide trok. Mineralen die op deze manier koper opleveren zijn bijvoorbeeld het roodbruine cupriet, het staalgrijze tenoriet, het groene malachiet en het blauwe azuriet (afb. 2). Deze zijn goed herkenbaar en hebben een hoog kopergehalte (bijvoorbeeld cupriet 88,82%). Een extra voordeel van deze kopermineralen is dat zij als zodanig in concentraties voorkomen en niet eerst gewonnen hoeven te worden uit waardeloos mineraal-omsluitend ganggesteente. Bij het verkrijgen van koper uit deze mineralen ontstaan dus geen slakken. De reactievergelijking van cupriet (Cu_2O) met koolmonoxide (CO) laat zien dat het enige bijproduct ontsnappend - aangeven met het teken \nearrow - kooldioxide (CO_2) is: $\text{Cu}_2\text{O} + \text{CO} \rightarrow 2\text{Cu} + \text{CO}_2\nearrow$.

SLAKKEN

Andere secundaire kopermineralen moeten eerst gewonnen worden uit ganggesteente en laten dus wel slakken na. Voorbeelden zijn chrysocolla en brochantiet (afb. 2). Door deze slakken te wegen kan men een schatting maken van het geproduceerde koper en het daarbij gebruikte hout. Natuurlijk moet er rekening mee gehouden worden dat er in de loop der tijden allerlei typen ovens en manieren van koperextractie in gebruik zijn geweest met uiteenlopende rendementen en verschillend houtverbruik. Het is gebleken dat men lang niet altijd alle koper uit de erts haalde, waardoor de slakken soms nog zeer veel koper (tot wel 30%) bevatten en later opnieuw voor koperwinning werden gebruikt. Maar dat men grote hoeveelheden hout nodig had, blijkt wel uit de volgende berekening, gebaseerd op experimenten: 24 kilo hout levert 8 kilo houtskool op, waarmee 2 kilo slak en 0,2 kilo koper worden verkregen. Dus voor één ons koper is 12 kilo hout nodig.

TERTIAIRE KOPERMINERALEN

Aangezien koper inmiddels een essentiële rol speelde in het dagelijks leven en er dus steeds meer nodig was, raakten vanaf ongeveer 3000 voor Christus ook de secundaire koperertsen in grote delen van het Midden-Oosten uitgeput en moest men het van verder weg halen of het uit tertiaire koperafzettingen (kopersulfiden) halen. Vanaf de eerste helft van het derde millennium werden in het gehele gebied van Turkije tot in Afghanistan deze kopersulfiden tot koper verwerkt. De overgang van secundaire naar tertiaire koperertsen ging naar huidige inzichten gepaard met een totale omschakeling van de bewerkingstechniek: bij koperoxididen volstond het de zuurstofcomponent te onttrekken aan het erts, bij kopersulfiden was het tegengestelde vereist, namelijk het geforceerd laten oxideren van het erts! Dit gebeurde door het erts te vergruizen en te verhitten tot ca. 850°C.

Het principe laat zich verklaren met chalcosien (Cu_2S) als voorbeeld: de zwavelcomponent (S) is gebonden aan het metaal (Cu_2) en laat zich niet reduceren door koolstof (C of CO). Om de zwavelcomponent van zijn binding te bevrijden is een tweetal vrije zuurstofionen nodig. De zwavelionen oxideren daardoor tot zwaveldioxide (SO_2), dat ontsnapt als heet gas en dat wij tegenwoordig vooral kennen van zijn rol bij het ontstaan van zure regen. Daardoor raakt ook de kopercomponent geïoniseerd (2Cu^+) en die gaat op zijn beurt een binding aan met een zuurstof-ion, waardoor Cu_2O gevormd wordt, en dat is cupriet, waarvan al eeuwen bekend was hoe er koper van te maken was en dat hierboven besproken is. Dit proces is niet energiezuinig en deze techniek werd alleen toegepast als de gemakkelijker te verwerken kopermineralen uitgeput of in de handel (tijdelijk) niet verkrijgbaar waren. Ook bij dit proces ontstaan slakken, die vaak nog veel koper bevatten.

KOPERBEWERKING

De bewerking van koper was niet eenvoudig. Het smeltpunt van koper is zo hoog (1083°C) dat men over goede ovens en veel brandstof moet beschikken om het helemaal te doen smelten, zodat het gegoten kan worden. Daar was men aanvankelijk niet toe in staat.

Maar wanneer het koper bij het bewerken telkens op het juiste moment weer verhit wordt, kan het

afb. 2

- Verschillende kopermineralen en een tinmineraal:
- a. gedegen koper, 2 maal
 - b. cupriet (Cu_2O)
 - c. azuriet ($\text{Cu}_3(\text{OH}/\text{CO}_3)_2$)
 - d. malachiet ($\text{Cu}_2(\text{OH})_2/\text{CO}_3$), 2 maal
 - e. hangertje met malachiet, azuriet en tenoriet (CuO)
 - f. chrysocolla ($\text{CuSiO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$)
 - g. chalcopryiet (CuFeS_2)
 - h. chalcosien (Cu_2S)
 - i. brochantiet ($\text{Cu}_4(\text{OH})_6/\text{SO}_4$)
 - j. chalcantiet ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)
 - k. cassiteriet (SnO_2), 2 maal



afb. 3

Lanspunt van vrijwel zuiver koper. De houten schacht werd in het holle uiteinde geschoven en met een metalen draad vastgezet.

Koper, l. 31,5 cm,
Iran, 1350-1000 v. Chr.
APM 8488

vrij eenvoudig met een steen verder in model worden gehamerd. Die oorspronkelijke zachtheid is tegelijk ook het grote nadeel. Gebruiksvoorwerpen van ongehard koper slijten snel en buigen gemakkelijk. Maar koper wordt harder wanneer het gehamerd wordt en is dan ook geschikt voor wapens (afb. 3). Gegoten koper heeft op de schaal van Brinell een hardheid van 50, gedreven (gehamerd) koper een hardheid van 128. Omdat gehamerd koper tegelijk ook brosser wordt, is het de kunst om op het juiste moment op te houden. Maar zelfs gehamerd koper is zo zacht dat de Egyptische werklui die in de Vallei der Koningen aan de graven van de farao's werkten, elke avond hun koperen werktuigen inleverden zodat ze geslepen konden worden.

ARSEEN

Natuurlijke koperlegeringen hebben waarschijnlijk tot de ontdekking van brons geleid. In alle koperertsen komen sporenelementen van andere stoffen voor, zoals arseen, bismut, lood, ijzer, zilver en soms tin, die bij het smelten in het koper terecht komen. Dat leidt tot verschillende resultaten. Meestal hebben deze onzuiverheden geen grote invloed op het koper, maar bij tin (Sn) en arseen (As) ligt het anders. Koperertsen waar arseen in zit, leveren arseenbrons op. Omdat dit een iets lager smeltpunt heeft dan koper (bij 5% As ca. 1040°C, bij 10% As ca. 1000°C), was men wél in staat het te smelten. Omdat het daardoor ook langzamer stolt (het smeltpunt is gelijk aan het stollingspunt), vult het de vorm beter op en wordt de detaillering beter. Bovendien levert het een harder metaal op, dat beter te slijpen is en minder snel breekt. Nadelen zijn dat deze legering alleen in de natuur voorkomt, zodat de componenten niet te doseren zijn, en dat arseen zeer giftig is. Omdat arseen al bij 886°C verdampt, dus vóór het smeltpunt van arseenbrons is bereikt, komen die giftige dampen in de lucht, met alle gevolgen van dien voor de smid. Wellicht werd de god Hephaistos door de Grieken als mank en lelijk voorgesteld omdat smeden in de oudheid vaak misvormd waren door het inademen van arseen.

TIN

Rond 3000 voor Christus ontdekt men dat de combinatie van koper met tin ongeveer hetzelfde resultaat geeft als koper met arseen: een harder materiaal met een lager smeltpunt. Nadeel is dat het koper eerst gesmolten moet worden om het met het gesmolten tin te legeren, maar dat is inmiddels technisch mogelijk geworden. Er zijn echter veel meer voordelen: net als arseen verlaagt tin het smeltpunt van koper (toevoeging van 5% tin verlegt het smeltpunt van koper van 1083°C naar 1050°C, terwijl een toevoeging van 15% tin het smeltpunt verlaagt naar 960°C) waardoor bij het gieten allerlei details in de mal beter gevuld worden en het eindproduct van veel betere kwaliteit is. Verder levert ook tin een harder metaal op (brons met een aandeel van 10% tin heeft op de schaal van Brinell een hardheidsfactor van 90 indien gegoten en

van 228 indien gedreven). Maar er is meer: tin is niet giftig, het kan precies gedoseerd worden (gemiddeld ca. 10% tin op 90% koper), zodat de smid het hele proces van gieten en smeden veel beter kan beheersen, en het beperkt het krimpen van het kopergietsel bij afkoeling. Men moet wel bedenken dat brons altijd weer gerecycled werd. Oude stukken brons werden omgesmolten, waardoor de samenstelling van het nieuw te vormen brons niet meer van tevoren vaststond en er veel afhing van de kundigheid van de smid om vast te stellen of de legering de vereiste samenstelling had.

Tin kwam niet voor in Mesopotamië en werd vermoedelijk aanvankelijk geïmporteerd uit Afghanistan en Anatolië. Toen deze voorraden uitgeput raakten, moest men tin van verder weg halen. Het gebruik van brons had zich van Mesopotamië inmiddels geleidelijk naar het westen verspreid. Rond 2500 voor Christus werd het gebruikt in Oost- en Centraal Europa en in Nederland begon de Bronstijd omstreeks 1800 voor Christus. In Europa werd tin onder andere gedolven op het Iberisch schiereiland en Sardinië en in Cornwall (vanaf 1000 voor Christus) en Bretagne. Omdat de handelscontacten verbeterden, werd vermoedelijk hiervandaan tin aan het Nabije Oosten geleverd, waar in het eerste millennium Assyrië een centrum van een bloeiende bronsindustrie was, net als Urartu in Oost-Turkije en Luristan in Iran. In Egypte, waar veel koper voorkomt, blijft men lang koperen werktuigen gebruiken. Wellicht komt dit omdat hout daar zeldzaam is, zodat er niet voldoende brandstof was om bronsovens te stoken. Pas tijdens het Middenrijk (1994-1781 voor Christus) werd de bronstechnologie uit het Nabije Oosten overgenomen. Na 1500 voor Christus werd die verfijnd, maar de Egyptische bronskunst bereikte pas in de laatste zeven eeuwen voor het begin van de jaartelling haar bloeiperiode.

IJZER

Rond 1200 voor Christus ging men steeds meer ijzer gebruiken. De voordelen van ijzer boven brons zijn dat het, indien gestaald, sterker en harder is en dus beter geschikt voor wapens en gereedschap. Bovendien komt de grondstof op veel meer plaatsen voor, zelfs in Nederland. Toch verdwijnt brons niet uit het dagelijks leven: omdat het zo mooi is en fijn te bewerken, blijft het hét materiaal voor beelden en luxe voorwerpen als spiegels, vaatwerk en sieraden.