

Cire perdue støbning i bronzealderen

Hvordan laver man en voksmodel?

Af PREBEN RØNNE & THOMAS HJEJLE BREDSORFF

Abstract: En meget betydelig del af bronzerne fra den nordiske bronzealder er støbt á cire perdue. Imidlertid er udgangspunktet – voksmodellerne – praktisk talt ignoreret i forskningen. Her skal beskrives, hvordan en voksmodel til en bælteplade kan fremstilles.

Voksmodellen

»Ingen har bekymret sig om, hvordan voksmodellerne blev formet« (Thrane 2009, 93). Det er et forbausende stærkt udsagn, men ikke desto mindre har Henrik Thrane næsten ret. Det er meget lidt, der er gjort her. Voksmodellerne har været noget, der bare var der i baggrunden, men som man ikke forskede på. Der er skrevet meget om de nordiske bronzer, som i betydelig grad er støbt i 'tabt voks' teknik, uden at nogen har beskrevet, hvordan modellerne kan have været udformet. Der findes enkelte eksempler på, hvordan man tror, at voksmodeller er fremstillet andre steder i Europa. En metode, der er meget anderledes end den, der må gælde for de nordiske bronzer, er fra Spanien (Armbruster 2000, 77 ff.). Når det gælder det nordiske materiale, er et forslag til at lave blæserør og ornamentik på klangplader i et projekt angående kopiering af lurerne enestående (Holmes & Stanbury 1986). Interessant er det, at der her arbejdes med stempler, men dog kun til plastiske ornament. Den endelige plade i voks vises dog ikke, og enkeltornamentene præsenteres på en træplade. Meget mere er der ikke at

henvise til i europæisk, arkæologisk forskning, og er der endelig noget, der tangerer udformningen af voksmodeller, er det teoretiske overvejelser. Det kan undre, fordi her ligger baggrunden for forståelse af, hvordan en meget betydelig del af de nordiske bronzegenstande er blevet skabt.

I forbindelse med nogle forsøg vedrørende støbning og støbt ornamentik, som den ene af denne artikels forfattere (PR) gennemførte i årene omkring 1987-93, måtte der nødvendigvis fremstilles en voksmodel, der kunne vise, at al ornamentik, også spinkle linjer – da specielt i form af spiraler – kunne støbes.

Vi valgte at kopiere en bælteplade. Efter en del mere eller mindre vellykkede forsøg stod det klart, hvordan det skulle gøres rent teknisk. Modellen, som lægges frem her, blev fremstillet af den anden af denne artikels forfattere (THB). Voksmodellen blev fremstillet på følgende måde:

1. Bivoks smeltes forsigtigt over en sagte ild. Voksen har smeltepunkt omkring 62-65 grader. Det må ikke blive varmere, end at voksen er letflydende.



Fig. 1. Vokspladen finpudses i kanterne og lægges på en træplade, der kan drejes. Pladen centrerer i forhold til en syl, som sættes i midten. I sylen bindes en snor forbundet med et redskab, der kan være af træ, ben eller andet med en tilskåret æg, som kan skære fine linjer, der kan danne koncentriske cirkler i voksen.

The wax tablet is laid on a wooden board that can be turned, and an awl is placed in the middle. To the awl a cord is tied, connected with a tool with a sharpened edge which can cut the concentrated circles in the wax.

2. Vand varmes op til ca. 90 grader i et lerkar af passende diameter. Karrets diameter og voks-mængden afgør pladens tykkelse. Den kan siden tilskæres i ønsket diameter på bæltepladen. Når vandet har tilpas temperatur, hældtes den flydende voks forsigtigt ud på vandoverfladen. At temperaturen skal ligge noget over smeltepunktet for voks skyldes, at voksen ikke skal størkne for hurtigt på vandet, men fordele sig jævnt og med ensartet tykkelse over hele vandoverfladen. Det kan selvfølgelig være andet end et lerkar og en rund form. Det væsentlige er vandets temperatur.
3. Voksen vil fordele sig jævnt over vandoverfladen med en ganske ensartet tykkelse. Tykkelsen på vokspladen afhænger helt af hvor meget voks, der hældes på i forhold til karrets diameter.¹
4. Når temperaturen er faldet til omkring 50 grader, vil voksen danne en fast plade på vandoverfladen. Ved 30 grader er den stabil nok, til at den kan tages op. Den skæres fri af karrets sider, og derpå er vokspladen klar til at blive arbejdet videre på.
5. Vokspladen finpudses i kanterne og lægges på en træplade, der kan drejes. Pladen centrerer i forhold til en syl, som sættes i midten. At sylen laver et hul er underordnet, for det er her, at øsknen på bagsiden og spidsen på forsiden senere placeres. I sylen bindes en snor forbundet med et redskab af træ, ben eller et andet passende materiale med en tilskåret æg, der kan lave fine koncentriske cirkler i voksen: En simpel form for passer. For at passeren skal være tilstrækkelig stabil, er det vanskeligt at tro andet, end at sylen har været af bronze. Med cirklerne lægges ornamentets opbygning fast (fig. 1).
6. Mellem linjerne med kort afstand presses stempler med trekanter, romber eller lignende ned i voksen. Imellem de brede områder trykkes spiralstemplet (fig. 2-5). Det er vigtigt at bruge vand i forbindelse med udsmykningen af voksen. Ved at dykke stemplet i vand – eventuelt vegetabilsk olie - inden hvert aftryk, sikrer man, at voksen ikke klistrer mod stemplet og derved ødelægger aftrykket. Er der ikke tilstrækkeligt med vand, trækkes kobbertråden ud og stemplet ødelægges. Det kan selvfølgelig rulles op igen, men da ændrer geometrien sig.

Fig. 2. I de brede felter trykkes et spiralstempel. Ved den halvfærdige model står det stempel, som er brugt til spiralornamentikken.

A spiral punch is pressed into the wide spaces. By the half-finished model stands the punch that was used for the spiral ornamentation.

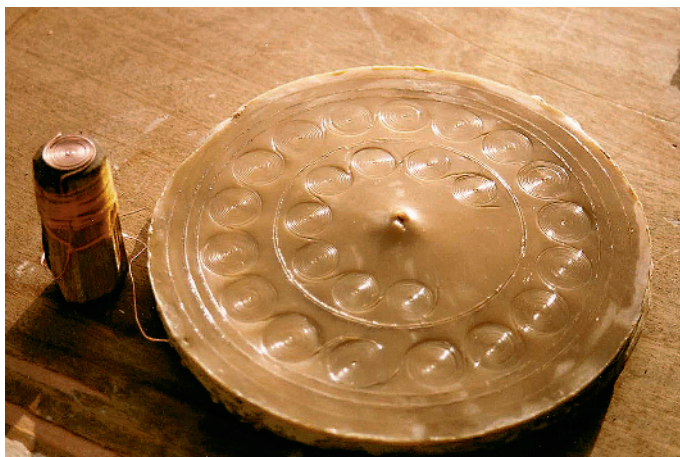


Fig. 3. Imellem linjerne med kort afstand presses stempler med trekanter, romber eller tilsvarende små stempler ned i voks.

Between the lines at short distances from one another punches with triangles, rhombuses or similar forms are pressed down into the wax.



Fig. 4. Detalje af voksmodel med de mest almindelige motiver, som cirkellinjer, trekanter øverst og romber nederst. Disse tre motiver er lavet ved tilskårne pinde. I midten spiraler der også er lavet ved stempler. Sammensætningen af spiralstempler kan være vanskelig at se. Ved ornamentene ligger der lidt løst voks. Køles pladen ned, bliver voksens hård og sprød, og så kan det løse let børstes væk. Dette er ikke bæltepladen, der beskrives her, men en voksmodel fra et tidligere forsøg. Ornamentikken her er stemplet ind af PR med de små redskaber, der ses på figur 9 og 11.

Detail of wax model with the most common motifs such as circle-lines, triangles at the top and rhombuses at the bottom. These three motifs are made with sticks cut to shape. In the middle we see spirals that have been made with punches. The composition of the spiral punches can be difficult to see. A little loose wax lies on the ornaments. If the plate is cooled down, the wax becomes hard and brittle, and the loose material can easily be brushed away. The wax model is from an earlier experiment. The ornamentation has been punched in by PR with the small tools that can be seen in figs 9 and 11.





Fig. 5. Ved vokspladen ligger den lille pind, der er vort 'trekantstempel'. Voksmodellen af selve pladen er her næsten færdig, men man mangler stadig at afslutte spiralbåndet uden at stemple ind over den spiral, den skal sluttes sammen med for at færdiggøre båndet.

By the wax plate lies the small stick that has been used to punch in triangles. Here the wax model is almost finished, but the spiral band still has to be terminated without punching in over the spiral to which it has to be adjacent.

Den færdige bælteplade i voks har alle de karakteristika, som de originale bælteplader har (fig. 6). Dette kan kun gøres af en dygtig håndværker eller kunstner, og det må vi vurdere bronzealderens voksmodellører som værende. Kunsthåndværker kan man vel betegne ham eller hende med et moderne udtryk.

Ved støbning overføres alle former og ornamentdetaljer til metallet (fig. 7). Inden bæltepladen er helt færdig, skal den støbte bronzebælteplade gennem yderligere behandling. Indløbene og mulige luftkanaler skal fjernes og i visse tilfælde skal den igennem endnu en støbeprocess, hvor midtspidsen og øskenen bag på bæltepladen støbes på, som en såkaldt 'Überfangguss'. Til allersidst skal 'støbehuden' poleres bort. Det er en meget tynd, mat belægning, der dannes på metaloverfladen ind mod lerformen. 'Støbehuden' er ikke altid fjernet på bagsiderne af de originale genstande.

Redskaberne

Til fremstillingen af voksmodellen var redskaberne ganske simple. Det mest avancerede var spiralstemplet, i form af en lille træklods med en oprullet kobbertråd. Det er tidligere beskrevet i anden

sammenhæng (Rønne 1989; 1991a; 1991b; 1993). Det består i al enkelthed af en lille, rund træklods hvor man med en syl prikker et hul, og i dette stikker man en sammenbøjet kobber- eller bronzetråd ned (fig. 8 og 10). Tråden foldes ned på træklodsen, og vrides rundt til den danner en spiral, der ikke hænges sammen i midten (fig. 9).

De øvrige redskaber bestod af tre små træpinde (fig. 11). Den ene var skåret til med en smal æg til at indstregte cirklerne i de bånd, der adskiller felterne med spiraler. Den anden pind var trekantet, og med den blev zig-zag- ornamenterne opbygget i form af et bånd af skiftevis modstillede trekanter. Den tredje pind var tilskåret som en rombe. De afbildede redskaber på figur 9 og 11 var alt, der skulle til for at udsmykke den lille voksplade på figur 4.

De små tilskårne træpinde, vi brugte til linjer, rombiske og trekantede stempler, har vi intet at sammenligne med i nordisk bronzealder. Der er et lidt yngre fund fra England, der kan minde om dem, men de er udskåret i ben. Det er enkle redskaber til voksarbejder fundet på en jernalderboplads i Dorset: 'Gussage All Saints'. Det er formentlig den eneste lokalitet i Nordeuropa med redskaber, der kan minde om dem, vi brugte til vort forsøg (fig. 12) (Wainwright 1979, 128-131, fig. 98). De fandtes i en grube med et utrolig rigt materiale. Alene af stø-

Fig. 6. Den færdige voksmodel, ved Thomas Hjejle Bredsdorf.

The finished wax model, by Thomas Hjejle Bredsdorf.



Fig. 7. En færdig, støbt kopi efter voksmodellen. Ornamentikken har alle de elementer som kendetegner originalerne. Den er støbt i bronze af Broncestøbeværkstedet Leif Jensen, Bagsværd.

A finished, cast copy of the wax model. The ornamentation has all the elements that are characteristic of the originals. It was cast in bronze by Broncestøbeværkstedet Leif Jensen, Bagsværd.



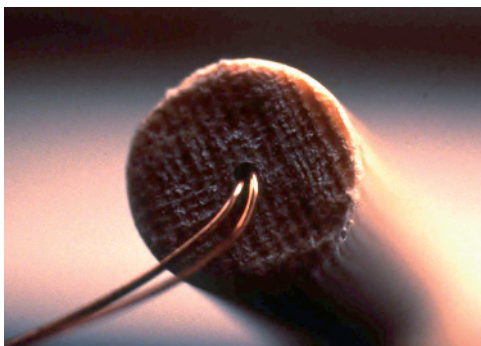


Fig. 8. Spiralerne blev trykket ind i voksen med et stempel dannet af en bøjet kobbertråd, der blev puttet ned i et lille hul i en træklods. For at kunne efterligne de originale aftryk er det nødvendigt, at tråden 'afbrydes' i centrum.

The spirals were pressed into the wax with a punch made of bent copper wire which was squeezed into a small hole in a wooden block. In order to imitate the original impressions it is necessary to 'break off' the wire at the centre.

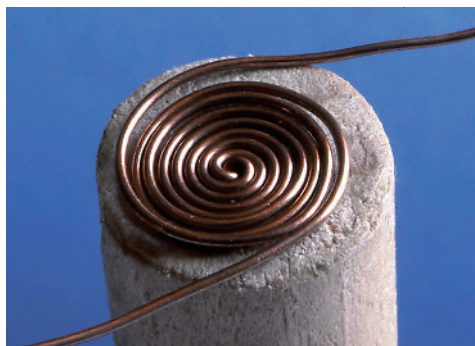


Fig. 9. Kobbertråden blev lagt ned mod træklodsens og vredet rundt i en spiral. Dermed var spiralstempellet færdigt. Det er brugt på voksmodellen fig. 4.

The copper wire was laid against the wooden block and twisted round into a spiral. The spiral punch was now finished. It was used on the wax model in fig. 4.

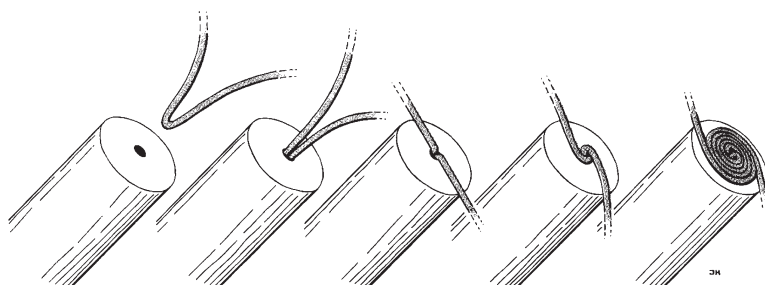


Fig. 10. Tegningen viser hvordan et spiralstempel er dannet. Tegning ved Jørgen Kraglund, gengivet efter SKALK nr. 6, 1988.

Production of a spiral punch. Drawing by Jørgen Kraglund, reproduced from SKALK no. 6, 1988.

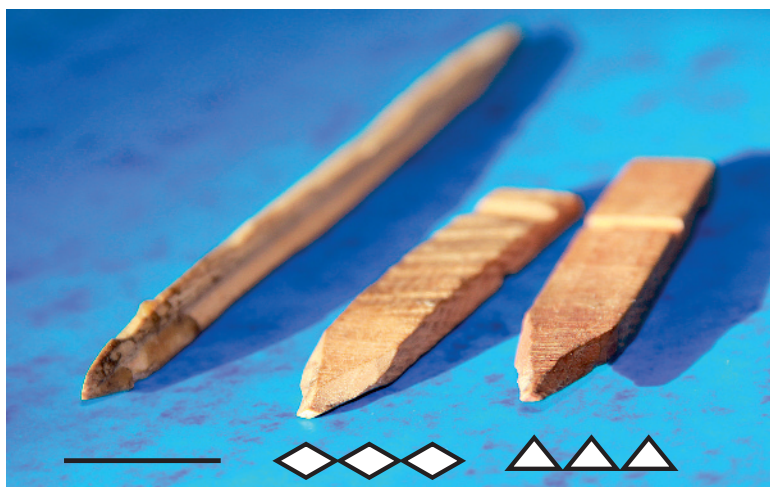
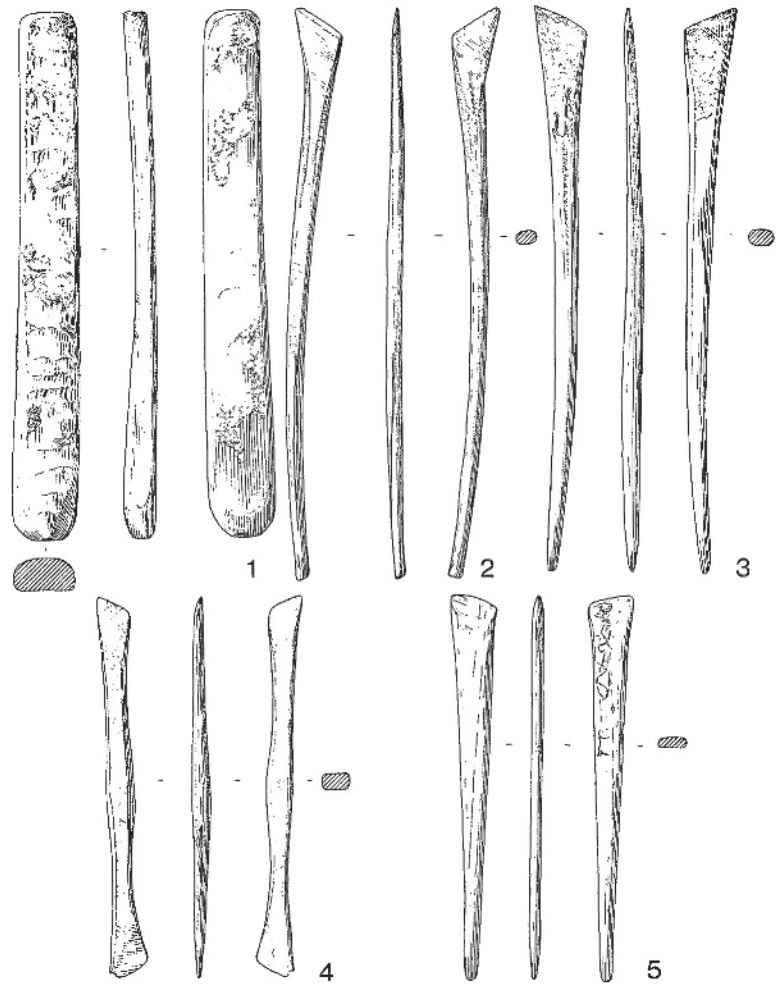


Fig. 11. Stempler skåret ud i træ. Til venstre et stempel med æg til linjer, i midten en rombe og til højre en trekant. De tre stempler er brugt på voksmodellen figur 4.

Punches cut in wood. On the left, a punch with an edge for lines, in the middle a rhombus and on the right a triangle. The three punches were used on the wax model in fig. 4.

Fig. 12. Simple – men effektive – redskaber af ben beregnet til forarbejdning af voks fra grube 209 på bopladsen Gussage All Saints, Dorset, fra tidlig jernalder. Genstand nr. 1 tolkes som en barre af bronze. Den er 11,3 cm lang. Nr. 2-5 er modellerredskaber af ben. Gengivet efter Wainwright 1979.

Simple – but effective – tools of bone intended for shaping wax from pit 209 at the settlement Gussage All Saints, Dorset, from the Early Iron Age. Object no. 1 has been interpreted as an ingot of bronze. It is 11.3 cm long. Nos. 2-5 are modelling tools of bone. Reproduced after Wainwright 1979.



beforme til cire perdue støbning fandtes i denne ene grube (pit 209) mere end 7000 fragmenter. Indholdet i gruben således vigtig for studiet af forhistorisk cire perdue støbning (jfr. Foster 1980). Den har ikke været inddraget i bronzealderforskningen tidligere i Skandinavien. Bopladsen er fra tidlig jernalder, og måske derfor har den undgået bronzealderforskerens opmærksomhed på kontinentet.

Gussage All Saints er fra omkring 300 f. Kr., men redskaberne til at arbejde i voks med har næppe ændret sig nævneværdigt fra bronzealder til tidlig jernalder. Det viser med al tydelighed, hvilke problemer forskningen står overfor, når det gælder påvisning

af redskaber og teknik, hvortil man anvendte så let forgængeligt et materiale. De fundne genstande ligner i øvrigt redskaberne, som er afbildet i Harry Jacksons bog om tabt voks fra 1972 (Jackson 1972, 40, fig. 50), og det kan vel næppe komme som en overraskelse.²

I vore forsøg mangler et vigtigt stempel fra bronzesmedens værktøjskasse: Det lille stempel, der kan danne de ganske almindeligt forekommende 'perlerækker'. Det stempel var ikke nødvendigt for forsøgene, der kun gik ud på at vise, hvordan en bælteplade af voks kunne fremstilles, ikke nødvendigvis med alle forskellige ornamentdetaljer.

Fra tysk side er det foreslået, at perlerækkerne skulle være fremstillet med et rullestempel (Born 2003, 91 f., fig. 9, 11 og 13). Spørgsmålet er, om teorien om et rullestempel kan overføres til dansk bronzealdermateriale. Det har vi ikke kunnet finde nogen bekræftelse på. Teknikken ser ud til at have været en anden, som illustreres i en tegning med markering af stempelspor på en perlerække fra en bæltekrog (fig. 13).

Perlerækkerne blev lavet med et timeglasformet stempel, som presses i voksen. På begge sider af stemplet presses voksen op, og når man sætter næste stempel i, og voksen også presses op her, opstår en 'perle' imellem de to stempler. Her er ikke tale om noget hjul med huller eller andre spidsfindigheder, men blot udnyttelse af materialets egenskaber.

Illustration på et forstørret udsnit viser dels, hvordan et stempel kan have set ud (i dette tilfælde kan det have været lavet af bronze, for kanterne er meget skarpe), dels hvor uregelmæssigt de enkelte stempler er anbragt, set i stor forstørrelse. Man kan oven i købet se, at timeglassene er sat i retning mod uret, for der er en overlappning i nogle stemplers nederste hjørne, hvor det forrige stempel bliver dækket af det nye stempel.

Når man ser for sig en perfekt match mellem stykker med perler, skyldes det dels, at forstørrelsen ikke har været kraftig nok, så man ikke kan se de små variationer, dels at vi har at gøre med et arbejde udført af en rigtig dygtig bronzesmed.

Der skal ikke meget fantasi til at forestille sig, hvor umuligt det vil være at påvise så simple redskaber som det lille timeglasformede stempel i en grav, et depot eller i et bopladsfund – hvis stemplerne altså har været af organisk materiale. Chancen er betydelig bedre, hvis de har været af bronze, men der er endnu ikke fundet spor efter den type redskaber i gravene. Heller ikke i egekisterne, der byder på optimale bevaringsforhold for organisk materiale, er denne type redskaber påvist.

Overraskende ved forsøgene var det imidlertid, at det ikke var nødvendigt at planlægge an-

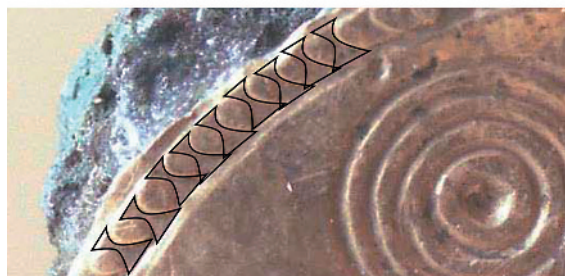


Fig. 13. Stempelspor på en perlerække fra en bæltekrog. Stemplet har været timeglasformet og formentlig af bronze. Perlerækkerne er meget velbevarede i det pålagte guld.

Punch marks in a 'string of beads' on a belt hook. The punch must have been hourglass-shaped and was probably made of bronze. The rows of beads are very clear in the applied gold.

tallet af spiralftryk i hvert bånd, andet end ved en vurdering baseret på den erfaring og øvelse, som forsøgene efterhånden gav. Det var overhovedet ikke nødvendigt at tegne radier eller andre geometriske hjælpemidler til at passe sig ind efter. Ingen matematiske beregninger var nødvendige. Efter nogle forsøg blev det rutine at få stemplerne tilpasset, således at en justering, hvor spiralerne i båndet skulle mødes og passe sammen til afslutning, blev minimal. I bronzealderen lykkedes det

ikke altid perfekt, og der er forskellige løsninger på den afsluttende sammensætning af stemplerne. Det mest almindelige er, at det sidste stempel er trykket ind over det første. På spydspidsen fra Valsømagle har bronzesmeden valgt en ganske praktisk løsning, idet han har viklet en vinding af tråden op for at få stemplet til at passe i den smalle ende af døllen og ved afslutningen i den brede ende lagt en vinding på for at få spiralerne til at passe ind i rammen (Rønne 1991a, 141, fig. 29).

En meget alternativ løsning findes på en bælteplade fra Hundshoved (fig. 14).³ Her har bronzesmeden viklet tråden ud og sammen igen flere steder på ornamentbåndet, som det nu har passet. I det hele taget virker det som om, at arbejdet med at påføre ornamentikken er gået meget hurtigt på denne bælteplade. Bæltepladen er relativt velbevaret, og det meste ornamentik fremtræder klar og tydelig.

Spiral-rækken på Hundshovedpladen: Der er hovedsagelig brugt et stempel med syv linjer i hver spiral. Spiralstemplet har været rullet mere eller mindre stramt op, så de enkelte stempelafttryk udviser stor variation i størrelse. For at tilpasse rækken til den afmålte plads er stemplet løbende ændret i antallet af spirallinjer, således at der ud over de generelle syv spirallinjer optræder stempelafttryk med 8 og 6 spirallinjer. Generelt er spiralerne forbundet med gennemløbende streger, men der optræder sammenføjetninger, der er mere eller mindre brudte eller kantede, og en enkelt, hvor der ikke er gennemløbende sammenføjetning. I et tilfælde har spiralstemplet forskubbet sig, således at den næst yderste spiralstreg går ind over den yderste og overtager funktionen med gennemløb til næste spiralstempel.

Øvrig ornamentik: Al ornamentik af bæltepladen synes præget af dygtigt håndværk udført med stor hastighed, således at der er meget stor variation og uregelmæssighed i alle stempelmærker, dog særligt i de yderste stempelrækker af timeglas-, trekant- og halvmånestempler. For eksempel viser trekantetrækkerne forskellig vinkling, tryk og præcision

ved brug af stempelværktøjet, hvilket får både det enkelte aftryk og rækkerne til at virke meget uregelmæssige. Den yderste halvmånerække er mere regelmæssigt sat, men der optræder et enkelt aftryk, der ved en fejl er sat over naborækken af timeglas. Endvidere ses en række af koncentriske cirkler med ophøjet midterdel, indrammet af halvcirkelstreger med timeglasudfyldning. De ophøjede midterdele er trykket op først – det er ganske enkelt i den bløde voks – hvorefter de koncentriske cirkler er trukket op, ikke med et stempel, men med et streg-værktøj. Den uregelmæssighed, som cirklerne udviser, kan ikke være fremkommet med et stempel.

Nok har ornamentikken været præget af lidt 'sjusk', men det skal understreges, at selve støbningen har været perfekt. Sådanne analyser – som laves uden at være forudindtaget – siger en del om bronzesmeden og om måden, der blev arbejdet på i bronzealderen.

Voksen

Til forsøgene og fremstillingen af den bælteplade i voks, der senere blev støbt, brugte vi ren bivoks. Ren bivoks – som det kan købes i dag – er imidlertid meget klistret, og det er næppe korrekt i forhold til den sammensætning, voksen har haft i bronzealderen. Det var meget vanskeligt at arbejde i ren voks, da den – på trods af vandet – oftest klistrede sig til kobbertråden. Den ødelagde stemplet ved at trække tråden ud, eller aftrykket blev ødelagt. Bæltepladen på figur 10 er lavet i ren bivoks, så det kan lade sig gøre; men i forhistorisk tid kan voksen næppe have været så klistret at arbejde med, som vi oplevede det.

Voksen har formentlig bevidst været tilsat materialer, som har gjort den lettere at arbejde i. I Jacksons bog om Lost Wax Bronze Casting beskrives voksen, der skal bruges til modellen, som en blanding af mineralsk og vegetabilsk olie som blandes med bivoksen. Blandingen bestod af paraf-

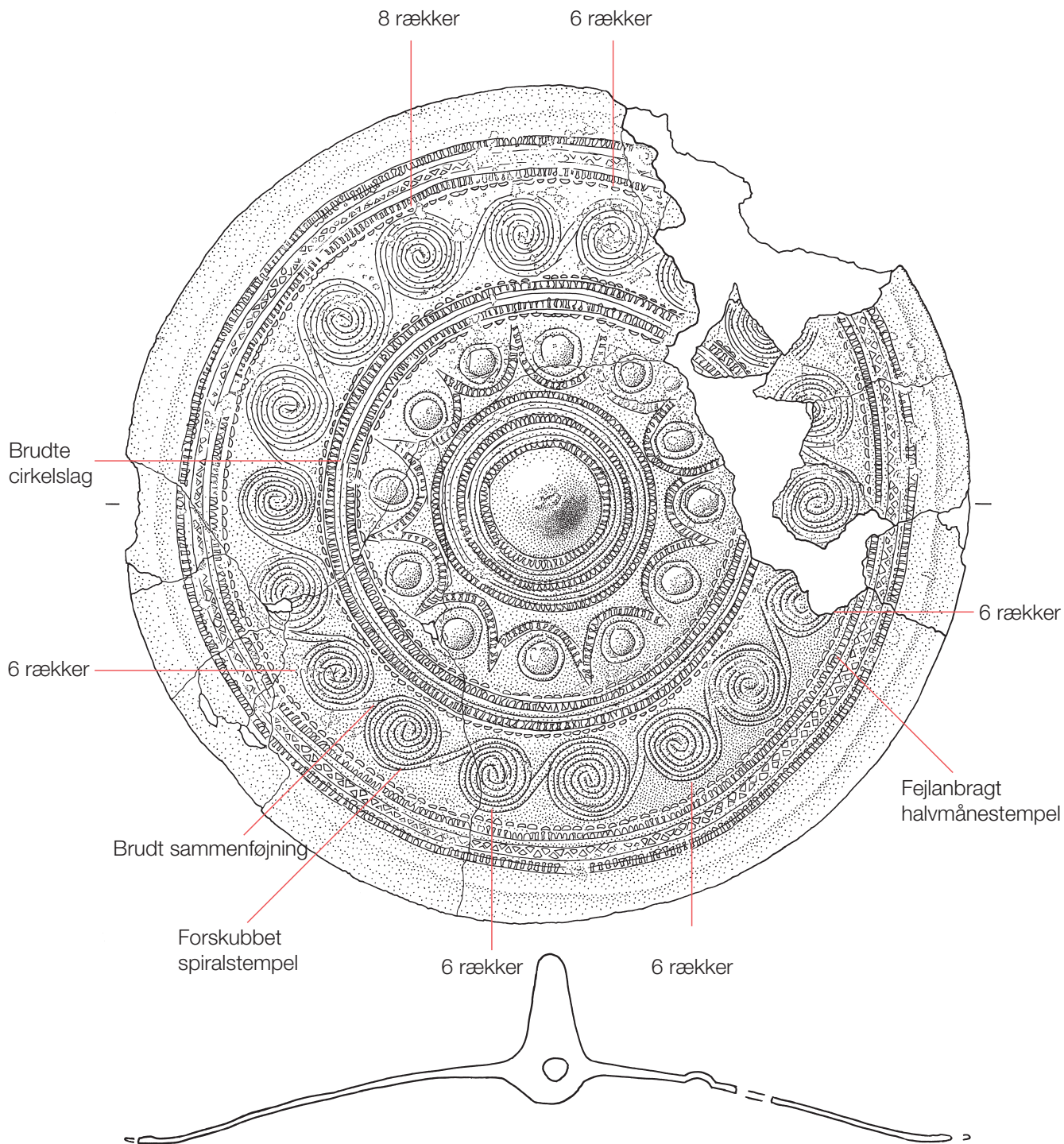


Fig. 14. Bæltepladen fra Hundshoved. Tegnet af Thomas Hjejle Bredsdorff til *Die Funde der älteren Bronzezeit*. 1:1

Belt plate from Hundshoved. Drawing by Thomas Hjejle Bredsdorff for the publication Die Funde der älteren Bronzezeit. 1:1.

fin, som fra fast form i stuetemperatur blev smeltet til flydende form. Paraffin er en mineralsk olie, som man ikke kan have brugt i bronzealderen. Blandingen blev tilsat 'gum resin' eller på italiensk 'pece greca', der er en vegetabilsk olie. I det beskrevne tilfælde udgør tilsætningsstofferne fra en tredjedel til halvdelen af det færdige materiale til at danne voks- modellen med (Jackson 1972, 24, fig. 21). Blandingen af paraffin og vegetabilsk olie blev i varm, flydende tilstand tilsat bivoksen, der smeltede til en let flydende blanding af bivoks og olier. Til allersidst tilsattes 'non drying oil' til blandingen. Det er også en vegetabilsk olie. Det sidste er gjort for at gøre blandingen mindre afhængig af temperaturen i arbejdsrummet. Mineralsk olie kan ikke være brugt i bronzealderen; men vi tror gerne at vegetabilsk olie kan være tilsat voksen, måske kan også dyrisk fedt være brugt. Men det har vi ikke gjort forsøg med.

Støbning af andre genstandstyper i 'tabt voks' teknik

Det lykkedes ikke at fremstille en ordentlig kopi i bronze ved vore egne forsøg med støbning, men med bistand fra Leif Jensens bronzestøberi fremstilledes flere bælteplader, der sagtens kunne forveksles med bronzealderens (fig. 7). De afveg dog ved at være lidt tykkere end originalerne. Det har en forklaring, vi skal vende tilbage til. Interessant nok var der støbefejl i flere af kopierne, og de samme fejl kunne genfindes på nogle af de originale bælteplader.

Der skal formentlig gå mange timer med forsøg endnu nogle år, inden forskerne kan eftergøre genstande i tykkelse og på størrelse med en bælteplade i original teknik. Men at ornamentikken kan støbes ved oprindelig teknik er hævet over enhver tvivl. Problemet ved eksperimentel arkæologi er, at det oftest er studerende eller enkelte færdiguddannede arkæologer, der udfører forsøgene i fritiden, eller det kan være i forbindelse med et kortvarigt

projekt. Støbning er så vanskeligt et håndværk, at det må læres gennem flere års fuldtidsarbejde. I bronzealderen er viden og erfaring om teknikken uden tvivl givet videre fra den ene generation til den næste. Det gør det i øvrigt meget ofte endnu i dag, som traditionsbåret viden i en familie. Børnene er vokset op med de arbejdsprocesser, der har foregået i værkstedet. Bivoksen har med stor sandsynlighed været et pragtfuldt legetøj – og gennem leg lærer man. Arbejdet med voks og støbning har været en livslang læreproces.

Det, at lade voksen størkne på vand, og på den måde lave voksplader med ensartet tykkelse, løser en del spørgsmål om, hvordan bronzealderens voksmodeller kunne laves. Pladerne kan laves i ønsket størrelse og tykkelse alt efter behov. Ikke mindst kan de skæres til og bøjes eller vrides til den ønskede form.

I sin artikel om smederedskaberne af sten fra Galgehøj skriver Thrane videre: '... men at der skulle redskaber til at forme de fine, glatte, lige og krumme flader og intrikate, flerstregede ornamentter, er indlysende. Vore sten virker som et fornuftigt redskab til netop afskrabning og glatning af større flader som hængekarrenes, halskravernes, sværdklingerne og lurskiverne.' (Thrane 2009, 93 f.).

Inden vore forsøg med *cire perdue* støbning havde vi samme holdning til bearbejdning af voksen med stenredskaberne, som Thrane her giver udtryk for – i dag er vi ikke så sikre. Tre af de genstande, som Thrane nævner, kan meget enkelt laves uden den type redskaber. Sværdklingerne er en anden historie, men lurernes klangplader er blot en skive ligesom en bælteplade. Nogle er helt flade, blot med indstreget ornamentik, og da er fremstillingen forløbet helt som ved vort forsøg med bæltepladen. Er der tale om plastisk ornamentik som eksempelvis bukler, kan ornamentikken dannes i støberet på forhånd. Er voksen omkring 25 grader varm, lægger den sig blødt over formen. Voksen trykkes let til og dermed ind i ornamentterne. Den skal ikke glattes af, den har den helt naturlige, glatte overflade. Hvor

glat den færdigstøbte plade bliver, afhænger også her af støbelerets finhed.

I det hele taget er voksplader nøglen til forståelsen af, hvordan rigtig mange voksmodeller må være bygget op.

Thrane henviser også til voksmodeller af hængekar. En voksmodel af et hængekar kan bygges op af voksplader. Teoretisk kan man forestille sig, at man laver den indre form i ler og på den lægger vokspladen. Det er nødvendigt at bygge den indre form op først. Arbejder man med voksmodeller i form af plader – der ikke bare skal være flade – opdager man meget hurtigt, at de må understøttes, ellers mister de formen. Selv svagt buede voksmodeller af bælteplader vil hurtigt synke sammen og blive helt flade. Hastigheden varierer med temperaturen. Den bedste løsning er, at den ene halvdel af lerformen – den indre – må være bygget op som det første. Derpå må voksen være lagt i flade plader. Lerformens overflade skal imidlertid også gattes og formes, sådan at vokspladerne kan lægges direkte på den. Også her kan de sten, som Thrane behandler, være interessante; men da er de ikke til at arbejde på voks med, men på støbeler. Når voksen er lagt på, kan ornamentene enten indstreges eller stemples. Da kan det have været en fordel, at furer i leret kan have holdt pladen fikseret. Der findes på flere af hængekarrene et forhøjet, meget spinkelt stjerneformet motiv inde i bundpladen (Neergaard 1890-1903, 93 fig. 11 og 97 fig. 14). En forklaring på det kan måske være, at dermed lå bundpladen af voks mere fast, mens der blev arbejdet på den. At lave det motiv har været ganske enkelt, man skulle blot strege det ind i lerformen, inden vokspladen blev lagt på. Motivet kendes også fra andre genstande som brillefibler og enkelte skivehovednåle. Det kan måske forklares ved, at det dels har været praktisk, og dels blev en fin lille udsmykning.

Siderne kan laves på samme måde, idet pladerne kan skæres til i lange passende brede strimler og samles på samme måde, som en konditor samler en lagkage med marcipanlag over kagen og marci-

pansider. Derpå bygges den ydre lerform op over den ornamenterede voksplade.

Halskraver er sandsynligvis også lavet af en flad voksplade, der blot er skåret til og bøjet i form. Eventuelle ribber på forsiden er enkle at lave ved at trække en afrundet pind hen over fladen. Mellem de furer som pinden danner, fremstår ribberne. Ornamentene i øvrigt dannes på samme måde som vist på bæltepladerne.

Jørgen Jensen har i *Danmarks Oldtid* Bd. 2 en glimrende beskrivelse af støbning af en lur, herunder opbygning af støbeformen til et rør til en lur (Jensen 2002, 460-61). Der er ikke noget at sige til den beskrivelse, men der mangler lidt. Jensen skriver: »Når pølsen var tør, blev den dækket af et tyndt lag voks, og i det blev lurstykket modelleret med de vulster og lignende, som det skulle have.« Der mangler et forslag til, hvordan det tynde lag voks lægges på, og hvordan man styrer den meget ensartede tykkelse, der er absolut nødvendig. Det er også her let at tænke på vokspladerne; men voksplader bruges næppe her. Lurernes rør er buede, S-formede og krumme. Det ville pladerne næppe lægge sig tæt op imod. Det er mest sandsynligt, at den færdigtørrede lerkerne er dyppet i flydende voks, trukket op, dryppet af og stivnet. I den proces vil røret naturligt blive tykkere i den nederste ende, da selv tyktflydende voks flyder ned. Det afklares ved at processen gentages med den anden ende ned, når voksen er helt afkølet. På den måde vil røret få en ensartet tykkelse med en perfekt glat overflade.⁴

Forsøg med fordybet stjerneornamentik

Udgangspunktet for denne artikel har været forklaringen på, hvordan en bælteplade kan være lavet som voksmodel. Arbejdet med denne fremlæggelse inspirerede den ene af forfatterne (PR) til at gøre et forsøg med en anden voksmodel. Et forsøg, der gik

ud på at danne fordybede stjerneornamenter. Vi kender dem især på dobbeltknapper fra periode III men også fra andre genstandstyper som eksempelvis tidlige bæltedåser. Det er et vanskeligt ornament at forklare tilblivelsen på, og det viste sig at være langt vanskeligere at eftergøre end spiralerne.

Karakteristisk for alle genstande med fordybede stjernemotiver er, at bunden af stjernerne altid er glatte og uden skæremærker. Man skulle ikke mindst forvente skæremærker i kanterne af stjernerne i bunden af motivet. Det kunne minimum forventes, at de ville fremkomme ved udskæringen og fjernelse af voksstjernen, men de er der aldrig. Der er aldrig skåret for dybt, bunden af stjernen er altid glat, der er ingen skræbemærker og ingen skæremærker. Forklaringen derpå er lige så enkel, som den er smart udtænkt af bronzesmeden.

Genstande med fordybet stjernemotiv er lavet af to tynde voksplader, hvor stjernemotivet er udskåret i den ene, der danner den øverste halvdel. Den skive er så lagt på den anden, som danner undersiden – den nederste halvdel. Dermed er stjernen dannet.

Vi har tidligere beskrevet, hvordan man kunne hælde smeltet voks ud på varmt vand, så der dannes en voksplade på vandoverfladen, hvis tykkelse afhang af, hvor meget voks man hældte på vandet i forhold til beholderens diameter. Hvis man hælder en mindre mængde voks ud på en større vandflade, så voksen ikke kommer til at berøre beholderens sider, vil voksen overvejende størkne i en tykkelse på ca. 1 mm. Hvis man med en pind trækker voksen lidt i kanterne, mens den stadig er flydende, kan pladen blive endnu tyndere. Det første er vigtigt i det videre arbejdsforløb med at danne stjernemotiver, for hermed opnår vi den tykkelse, som dybden på stjernemotiverne har på de små, flade dobbeltknapper fra periode III. Dybden af selve stjernemotivet på den type dobbeltknapper synes nemlig generelt at være ca. 1 mm. Det svarer til tykkelsen af en størknet voksplade uden ydre begrænsninger eller indgreb. På bælte-

dåserne er stjernerne dybere, og da må vandoverfladen have været begrænset, for at voksen kunne danne en tykkere plade. Her kan vi så kort vende tilbage til voksmodellen af en bælteplade. Den model vi fremstillede, var ca. dobbelt så tyk som originalerne. De originale bælteplader er sjældent tykkere end omkring 1 til 1,3 mm. Det betyder, at den smeltede voks ikke har været begrænset, når den har størknet på vandoverfladen.

Arbejdsgangen ved fremstilling af en voksmodel af en dobbeltknap med flad, let afrundet overside og lav 'midtknop' må ifølge forsøget være følgende:

1. Smeltet voks hældes ud på en vandoverflade med et areal, der er så stort, at fordelingen af voksen ikke begrænses. Derved dannes naturligt en voksplade på ca. 1 mm's tykkelse.
2. Runde skiver skæres ud i passende størrelse svarende til diameteren på pladerne til en lille dobbeltknap, der skal kopieres i voks. I naturen findes mange runde genstande. En tynd gren, der er rund, kan måske være et udgangspunkt. Der kan skæres omkring en sådan for at fastlægge form og størrelse på en simpel måde.
3. Den ornamenterede overplade dannes af to skiver. Den ene skive skal danne den uornamenterede bund af overknappen og den anden den ornamenterede overflade. Den nederste vil samtidigt danne bunden af den fordybede stjerne.
4. Først skæres stjernen ud af voksen på den plade, der skal ligge øverst. Den skæres helt bort fra pladen, og den udskårne stjerne fjernes helt (fig. 15a). Den kan alene skæres ud med en kniv i metal. Det er ikke nemt at skære i voksen, tværtimod det er meget vanskeligt at gøre, uden at den spinkle plade går i stykker, men det kan lade sig gøre.

5. De to plader lægges sammen, og den lidt klistrede voks vil naturligt limes sammen til én plade – med en fordybet stjerne i midten og en helt glat bund. Nu vil der være to sammenklistrede skiver, der tilsammen er ca. 2 mm tykke. De er helt flade og har skarpt afskåret kant (fig. 15b).

6. Selve formen på oversiden af pladen må nu dannes. De originale genstande har en let hvælvet form med jævnt afglattede kanter. Dette kan gøres med fingrene på den måde, at kanterne trykkes ned, hvorved man opnår den endelige form. Temperaturen må være mere end normal rumtemperatur – en varm sommerdag i solen ville være passende. Det påvirker ikke stjernemotivet, at pladen og især kanterne bliver formet. Den øverste ornamenterede plade på dobbeltknapperne har normalt en lidt større diameter end den uornamenterede. Det kan skyldes, at overpladen bliver lidt større, når den trykkes sammen i kanten. Underpladen er i øvrigt også normalt omkring 1 mm tyk.

7. Nu er stjernemotivet og formen på overknappen lagt fast. Da tilføres den koncentriske ornamentik i form af linjer. Dette må ske ved hjælp af en passer med det ene ben i centrum. Når linjerne er fastlagt, udfyldes mellemrummet med streg- eller stempelornamenter. Langs stjernens ben er der ofte små prikker lavet f.eks. med en lille spids træpind – eller en syl af metal.

8. Passeren må have dannet et spinkelt hul i centrum af bundpladen. Det dækkes ved, at en lille knop skæres ud af vokspladen. Det kan undertiden – i stor forstørrelse – ses at den er tilskåret. Den placeres i midten af stjernen (fig. 15c). Dermed er den ornamenterede overknap færdig og kan samles med resten af voksdobbeltknappen med en lille rund stang.

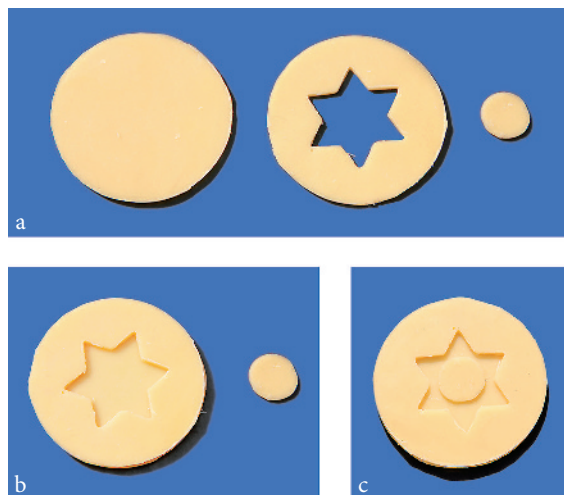


Fig. 15 a-c. Fordybede ornamenter, som vi kender den på eksempelvis dobbeltknapper og bæltedåser fra periode III, kan være fremstillet af moduler, der samles til en helhed. Forskellige stjernemotiver er det mest almindelige. Her et forsøg ved PR. – a. I forsøget bruges en voksplade størknet på vand. I den skæres tre moduler ud: en flad uornamenteret voksskive, en skive af samme størrelse med udskåret stjernemotiv og en lille knap til centrum. – b. Lægges skiven med det udskårne stjernemotiv oven på den flade skive, fremkommer et fordybet motiv. Nu kan der eventuelt placeres et passerben i centrum, og derved kan koncentrisk ornamentik fastlægges. – c. I midten placeres normalt en lille knap eller undertiden en lang stang. Derved skjules det hul, som passerbenet har skabt.

Making a model for a star motif known from double buttons and belt boxes from period III. Experiment by PR. – a. From a wax plate a flat disc, a disc of the same size with a cut-out star motif, and a small button, are all cut. – b. The disc with the cut-out star motif is laid over the other disc, so that a sunken motif appears. If necessary a pair of compasses can be used to cut concentric ornamentation; one of the arms is placed at the centre. – c. In the middle a small button, or sometimes a long rod, is placed. This hides the hole left by the compass arm.

Afslutning

Forsøget med at fremstille en voksmodel af en bælteplade blev udført for omkring 20 år siden. Siden da har studierne på dette område ligget stille – indtil for nylig, da Henrik Thrane helt korrekt påpegede manglen på indsigt i fremstillingsprocessen (Thrane 2009, 93). Derfor har vi taget sagen op igen i denne artikel. Meget mere om voksmodeller, og i sidste ende støbeteknik viden, kan opnås ved studium af andre genstandstyper, men det må i høj grad kombineres med praktiske forsøg.

Disse to forsøg har ført til mere end blot konstateringen af, hvordan voksmodeller kan være fremstillet. Det åbner samtidigt for indsigt i, hvordan ornamentikken har udviklet sig, efterhånden som bronzesmeden har gjort nye teknologiske opdagelser. Det er et studie i, hvordan *cire perdue* modeller kan bygges op, og hvordan nye elementer kan tilføjes. Der er ingen tvivl om, at udviklingen af bronzealderens stile har været afhængig af, hvad bronzesmeden kunne levere af nye muligheder. I sidste ende har bronzesmedens evne til nyskabelse af *cire perdue* modeller været afgørende for, at vi i moderne tid kan lave typologiske og kronologiske studier af stil og form i bronzealderen. Det giver en helt ny forståelse af de periodeovergange i bronzealderen, som vi arbejder med at definere. Der har ikke nødvendigvis været et ønske om at introducere nye stile. Der har fundet en teknologisk udvikling sted i bronzesmedens værksted – uden tvivl begyndende med en enkelt, kunstnerisk anlagt håndværkers leg med bivoksen og mulighederne for skabelse af nye former og nye stilistiske elementer.

Bronzesmeden har været tidens absolutte *modeskaber* – det er i værkstedet, man har skabt de stilistiske ændringer, som vi moderne arkæologer arbejder med, når vi prøver at få rede på kronologien og udviklingen af lokale træk.

Den fælles mode, der i de enkelte perioder kendetegner den nordiske bronzealder, kan alene være blevet skabt og udbredt gennem et netværk

af bronzesmede over hele det nordiske område. Spredningen er tilsyneladende gået meget hurtigt, efter at ideerne er opstået. Der må have været tale om et effektivt netværk med tætte forbindelser, der godt kunne blive inspireret af udefra kommende former og ornamentter, men som primært har arbejdet inden for sit eget teknologiske og kunstneriske univers.

Noter

1. Ideen at danne voksplader i ensartet tykkelse på vand er langt fra ny – heller ikke i nutidig sammenhæng. Jeg (PR) hørte først om metoden fra støbemester Leif Jensen og støbemester Peter Jensen i slutningen af 1980'erne (<http://www.ljbronze.dk/>). Den er selvfølgelig velkendt blandt fagfolk inden for støbning, men er tilsyneladende ikke særlig kendt blandt arkæologer. Metoden er dog genopdaget (Jantzen 2008, 96-97, note 104). Det burde ikke være nyt for arkæologer, der arbejder med støbeteknik, da processen med at lave sådanne tynde plader kan ses på video og på DVD (SVS, Skolernes videoselskab: Bronzealderen i støbeskeen – en video om bronzestøbning. Tappernøje 1992. – Samme er genudgivet på DVD: Oldtidens håndværk. *Skalk*, Højbjerg, 2006).
2. I indledningen citerede vi Thrane således: 'Ingen har bekymret sig om, hvordan voksmodellerne blev formet.' Det er med adresse til den forhistoriske arkæologi stort set korrekt, men der findes dog faglitteratur specielt for dem, der i moderne tid arbejder med voksmodeller som kunstnere og støbere (jfr. Jackson 1972).
3. Bæltepladen fra Hundshoved, NM B 6186, tegnet af Thomas Hjejle Bredsdorf d. 2008.02.04 til: *Die Funde der älteren Bronzezeit*, Bd. 13, *Skanderborg und Århus amter* (under forberedelse).
4. Bronzestøber Peter Jensen har gennemlæst artiklen, og han har foreslået denne arbejdsproces vedrørende dannelse af modeller til støbning af lurernes blæserør. Det har han gjort på baggrund af egne erfaringer i forbindelse med planlægning af støbning af en lur. Peter Jensen viderefører i dag sin fars bronzestøberværksted. *Bronzestøberiet Leif Jensen* der er specialiseret inden for *cire perdue* støbning. Værkstedet anses inden for billedhuggerkunsten for det absolut førende i Danmark. Både Leif Jensen og hans søn har modtaget hæderslegat for

deres arbejde. Peter Jensen er vokset op med arbejdet i værkstedet, og han har som barn leget med voks på samme måde, som vi tænker os, at tradition og viden er bragt videre i oldtiden. Han havde ikke yderligere kommentarer til de arbejdsprocesser, som vi har foreslået her, men mente, at de var fagligt korrekt beskrevet. Det var Leif og Peter Jensen, der støbte bronzerne med ornamentik omkring 1990. Den ene bælteplade er afbildet på figur 7. – Vi takker Peter Jensen og *Broncestøbeværkstedet Leif Jensen* for denne meget vigtige hjælp fra de, der arbejder med processen til hverdag.

Litteratur

- Armbruster, B.R. 2000. *Goldschmiedekunst und Bronzetechnik. Studien zum Metallhandwerk der Atlantischen Bronzezeit auf der Iberischen Halbinsel*. Monographies instrumentum 15. Montagnac.
- Born, H. 2003. Herstellungstechnischen Voruntersuchungen am Berliner Goldhut. I: Springer, T. (red.). *Gold und Kult der Bronzezeit*, s. 86-97. Nürnberg.
- Foster, J. 1980. *The Iron Age Moulds from Gussage All Saints*. British Museum Occasional Paper No. 12. London.
- Holmes, P. & Stanbury, N. 1986. Presentation and Discussion of a Project: The Replication of Late Bronze-Age Lurs. *Second Conference of the ICTM Study Group on Music Archaeology*. Volume II. *The Bronze Lurs*, s. 151-186. Stockholm.
- Jackson, H. 1972. *Lost Wax Bronze Casting. A photographic essay on this antique and venerable art*. New York & London.
- Jantzen, D. 2008. *Quellen zur Metallverarbeitung im Nordischen Kreis der Bronzezeit*. Prähistorische Bronzefunde XIX, 2. Stuttgart.
- Jensen, J. 2002. *Danmarks Oldtid*. Bd. 2. *Bronzealder, 2000-500 f.Kr.* Gyldendal, København.
- Rønne, P. 1988. Spiralens gåde. *SKALK* 1988, nr. 6, s. 9-12.
- 1991a. Early Bronze Age Spiral Ornament – the Technical Background. *Journal of Danish Archaeology* Vol. 8, 1989, s. 126-143.
- 1991b. Forsøgsarkæologi og bronzealderens ornamentik. *Eksperimentel Arkæologi. Studier i teknologi og kultur* nr. 1, s. 31-49. Lejre.
- 1993. Problemer omkring bronzealderens metalhåndværkere. I: Fosberg, L. & Larsson, T.B. (red.). *Ekonomi och näringsformer i nordisk bronsålder. Rapport fra det 6. Nordiska Bronsålderssymposiet, Nämforsen 1990*. *Studia archaeologica universitatis umensis* 3, s. 71 - 92. Umeå
- Thrane H. 2009. Galgehøj – endnu en gang. *Aarbøger for nordisk Oldkyndighed og Historie* 2005, s. 87-98.
- Wainwright, G.J. 1979. *Gussage All Saints. An Iron Age Settlement in Dorset*. London.

Cire Perdue Casting in the Bronze Age

How to make a Wax Model

“No one has worried about how the wax models were moulded” (Thrane 2009, 93). Henrik Thrane is almost right. Very little has been done in this area. The wax models have been something that was just there in the background, but not something one researched.

To prove a theory of cast spirals and the casting of ornamentation in general, wax models from which one could cast had to be made. We chose to copy a belt plate. The wax model was made as follows:

1. Beeswax is melted carefully at around 62-65 °C.
2. Water is heated to just below boiling point, 80-90 °C.
3. When the water has a suitable temperature, the liquid wax is poured carefully on to the water surface.
4. The wax is spread evenly over the water surface with an absolutely uniform thickness. The thickness of the wax plate depends entirely on how much wax is poured on compared to the diameter of the pot (the earthenware vessel).
5. When the temperature has dropped to around 30 °C, the wax will form a solid plate on the water surface. This is cut free from the sides of the pot, and the wax plate can then be taken up.
6. The wax plate is polished finely at the edges and laid on a wooden board that can be turned. The tablet is centred in relation to an awl which is put in the middle. That the awl makes a hole is unimportant, for this is where the lug on the back and the point on the front will be placed later. In the awl a cord is tied, connected to a tool with an edge that can make fine concentric circles in the wax – a simple pair of compasses. In this way the structure of the ornament is fixed (fig. 1).
7. Between the lines at narrow distances punches with triangles, rhombuses or the like are pressed into the wax. Between the lines at wider distances the spiral punch is pressed (fig. 2-5). It is important that the punch is dipped in water before each impression. This ensures that the wax does not stick to the punch and thus destroy the impression.

The finished belt plate in wax has all the characteristics that the original belt plates have (fig. 6). They are clearly reproduced on the cast plate in bronze (fig. 7).

To produce the ornamentation on the wax model a spiral punch was used (figs 8, 9 and 10). The other tools were as simple as three small wooden sticks, one trimmed to a narrow blade to score the circles in the bands that separate the spaces with spirals. The second stick was triangular and intended for the zig-zag ornaments in the form of a band built up of alternately opposing triangles. The third was cut to a rhombus.

An Iron Age settlement in Dorset, ‘Gussage All Saints’, is presumably the only site in northern Europe where objects have been found that resemble the wooden tools we used for our experiment (fig. 12).

We did not use the small punch that can form the ‘strings of beads’ that normally occur. According to our observations on the original belt plates, in the Bronze Age an hourglass-shaped punch must have been used to make this ornament. This is illustrated in a drawing and by the marking of punch traces in a string of beads on a belt-hook (fig. 13).

It was not necessary to plan the number of spiral impressions in each band; this came with practice. After a few attempts it became mere routine to form the punches such that any adjustment where the spirals in the band were to meet and fit together at the end became minimal. In the Bronze Age the process did not always succeed perfectly, and there are various solutions to the terminating combination of the punches. One unusual solution is to be found on a belt plate from Hundshoved, where the bronze caster has unwound and rewound the wire in several places to get the spirals to fit (fig. 14).

A second experiment with a wax model concerned the formation of sunken star ornaments. We know these for example from double buttons and belt boxes from period III of the Bronze Age. The making of this ornament was the most difficult process to explain, and it turned out to be more difficult to duplicate than the spirals.

The working procedure for making a wax model with sunken star motifs must, according to the experiment, have been as follows:

1. Melted wax is poured out on a water surface with an area that is so large that the spread of the wax is not limited. This naturally forms a wax plate about 1 mm thick.
2. Round discs are cut out in a suitable size.
3. The ornament is formed by two discs. One disc must form the unornamented bottom, and the other the ornamented surface.
4. The star is cut out of the wax on the plate that is to lie on top, and is removed completely.
5. The two plates are laid together, and the slightly sticky wax will naturally glue them together into one plate – with a sunken star in the middle and a completely smooth bottom (fig. 15 a-c).
6. The original artefacts often have a slightly convex form with a smoothed-off edge. This is shaped with the fingers.
7. When the star motif has been fixed to the plate underneath, the other ornamentation is added. Along the points of the star there are often small dots, made for example with a small pointed stick, or it may be surrounded by concentric circles.
8. The circles have to be made with a pair of compasses. This forms a sight hole in the centre. It is covered by cutting a small knob out of the wax plate and placing it in the middle of the star.

These two experiments provide insight into how the ornamentation may have developed alongside the bronze caster's new technological discoveries. The stylistic development would have depended on whatever new possibilities the bronze caster could offer. In the final analysis the bronze caster's ability to innovate with *cire perdue* models has been crucial to our own ability in modern times to conduct typological and chronological studies of style and form in the Bronze Age. This gives us an entirely new understanding of period transitions and stylistic changes in the Bronze Age.

The bronze caster must have been the absolute 'trendsetter' of the time – it was in the workshop that the stylistic periods were created. The general fashion could only have been created and spread through a close network of bronze casters across the whole Nordic area.

Translated by James Manley

Preben Rønne
NTNU Vitenskapsmuseet
N-7491 Trondheim
Norge
preben.ronne@vm.ntnu.no

Thomas Højle Bredsdorff
Danmarks Oldtid
Nationalmuseet
DK-1220 København K.
thomas.bredsdorff@natmus.dk