

Van ambacht naar wetenschap

Citation for published version (APA):

van der Wolf, A. C. H. (1971). Van ambacht naar wetenschap. *Metaalbewerking*, 37(14), 293-297.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1971

Document Version:

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.tue.nl/taverne

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.

Van ambacht naar wetenschap*

prof. dr. ir. A. C. H. van der Wolf

Technische Hogeschool Eindhoven

Het ligt voor de hand een gelegenheid als deze aan te grijpen om van de laatste bevindingen van mijn vakgebied te verhalen. De keuze van onderwerp zou niet gemakkelijk vallen; de naam werkplaatstechniek dekt een grote verzameling. Het zou vermoedelijk een klassiek voorbeeld worden van een vakspecialistisch betoog. Zulke betogen zijn mogelijk nuttig voor de technische vooruitgang van onze moderne wereld, maar leveren weinig of geen bijdrage voor de plaats en de richting van het werk van de vakspecialist in de huidige samenleving.

Ik geef er de voorkeur aan U de historie te schetsen van de ontwikkeling in de werkplaatstechniek. Van daar uit kunnen wij beter de werkgebieden van de specialisten binnen dit vak aanduiden.

Het is moeilijk om exact vast te stellen wanneer het eerste primitieve gereedschapswerktuig zijn intrede in de geschiedenis van de mensheid gedaan heeft. Uit een vondst op het Griekse schiereiland Peloponnesus zou men kunnen afleiden dat de mens reeds aan het einde van de Myceense tijd (ca. 1200 v. Chr.) bekend was met de kunst van het draaien. In een ondiepe houten schaal, gevonden in een groeve in Mycene, is een centergat te onderscheiden. Vast staat dat de Etruskische en Keltische volkeren van ca 700 v. Chr. het draaien machtig waren. Een en ander kan afgeleid worden uit gevonden huishoudelijke voorwerpen en sieraden uit die tijd.

Omstreeks 100 v. Chr. beschikten Keltische draaiers in de buurt van het tegenwoordige plaatsje Glastonbury Lake Village over twee, duidelijke verschillende technieken om de stenen armbandingen voor hun vrouwen te vervaardigen [1]. Bij de ene methode werd het produkt met de hand voorbereid en daarna op een spil geklemd, waarna de draaibewerking werd uitgevoerd (figuur 1).

De figuur laat zien welk het resultaat was, wanneer volgens deze methode een ring vervaardigd werd. Bij de andere methode werd het produkt aangedreven via

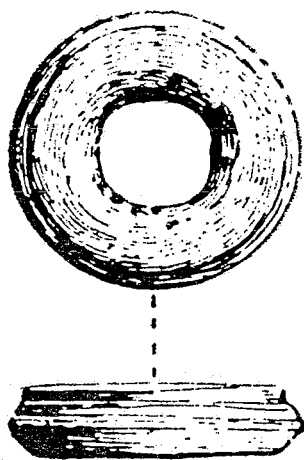


Fig. 1 Keltische armbandring van omstreeks 100 v. Chr.

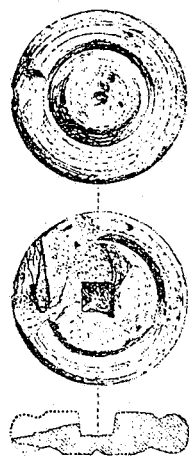


Fig. 2 Keltische armbandring volgens een andere methode vervaardigd

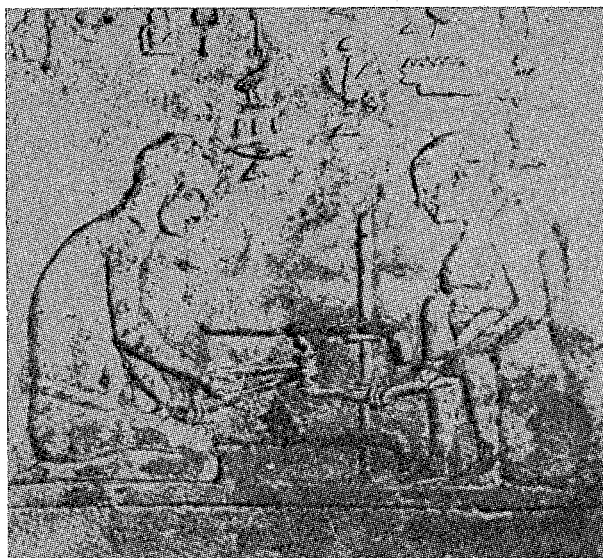


Fig. 3 Egyptisch grafreliëf met een voorstelling van het draaiproces ca. 300 v. Chr.

het vierkante einde van de hoofdspil, terwijl het center van de losse kop het werkstuk aandrukte (figuur 2).

U ziet hier een verknoid werkstuk, waarbij de gedeeltelijk gedraaide ring reeds zichtbaar is.

Ook in het Egypte van voor onze jaartelling behoorden draaien en boren tot de bekende technieken [2]. De oudst bewaard gebleven afbeelding hierover is een grafreliëf dat dateert uit ca. 300 v. Chr. (figuur 3).

* Uit de rede, uitgesproken bij de aanvaarding van het ambt van gewoon hoogleraar in de werktuigkundige aspecten van de werkplaatstechniek aan de afdeling der werktuigbouwkunde van de Technische Hogeschool Eindhoven op 12 november 1971.

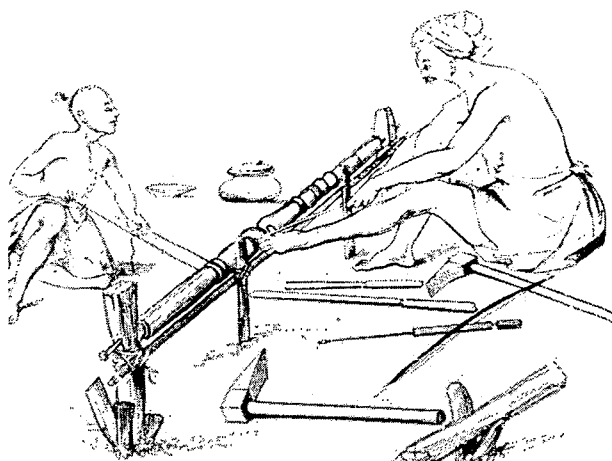


Fig. 4 Draaitechniek in India omstreeks de negentiende eeuw

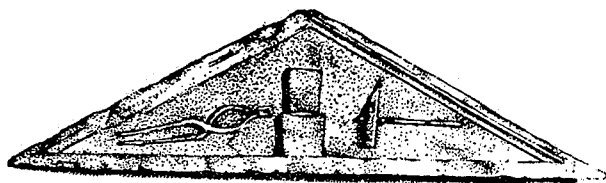


Fig. 5 Munten slaan uitgebeeld op een Romeins grafmonument uit 100 na Chr.



Fig. 6 Romeinse munt van Vespasianus, 70 na Chr.

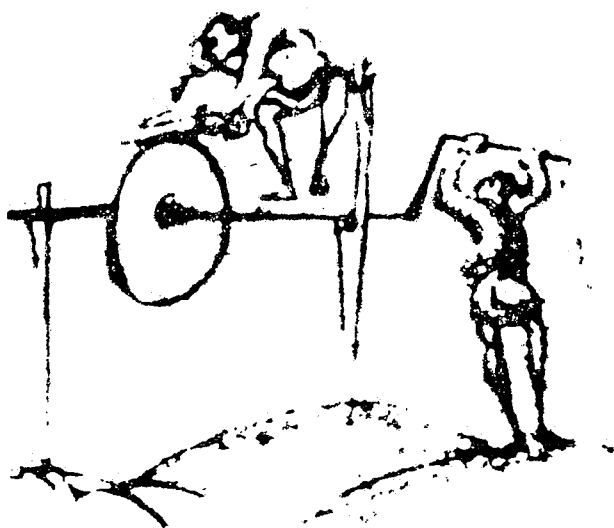


Fig. 7 Zwaardslijpmachine uit het Utrechts Psalmboek, 850 na Chr.

Bij figuur 3 moet worden opgemerkt dat de Egyptenaren het perspectivisch tekenen niet kenden [5]. Zij hadden de gewoonte om horizontale voorwerpen daarom voor de duidelijkheid in verticale positie te tekenen. De manier van draaien komt ongeveer overeen met een techniek die nog tot het eind van de vorige eeuw in India werd toegepast (figuur 4) [3]. Typerend hierbij is de grote lengte van het werkstuk.

Men kan aan de hand van vele andere voorbeelden aantonen dat enkele eeuwen voor het begin van onze jaartelling het gebruik van de draaibank bekend was in geheel Europa en het gehele Nabije Oosten [1].

Ook de niet-verspanende bewerking komt op een bepaalde wijze reeds zeer vroeg in de geschiedenis van de mensheid voor. Het betreft het maken van munten [4]. Deze techniek vormt tevens het enige voorbeeld van het vervaardigen van een produkt in massafabricage vóór de Industriële Revolutie. Het principe van het maken van munten is, dat een plaatje metaal tussen twee gegraveerde stempels in wordt geplaatst en dat door een klap met een hamer de afdrucken van beide stempels op het plaatje worden overgebracht.

Het begin van de munterijtechniek gaat terug naar 700 v. Chr. toen kooplieden in de Griekse steden van westelijk Klein-Azië hun voorraden edele metalen in de vorm van kleine gegoten staafjes gingen bewaren. Deze staafjes, ingots genaamd, van een goud-zilver legering werden meestal door de eigenaar van een bepaald merk voorzien. In het begin geschiedde dit merken op vrij primitieve wijze met behulp van jachtwapens en een hamer. Langzamerhand echter werd overgegaan op kleinere en plattere ingots die nauwkeuriger van een bepaald merk werden voorzien. In het Romeinse Rijk bestond het gereedschap hiervoor uit een stempel met boven- en onderzijde dat in de vorm van een tang met een schijfje metaal tussen twee ijzeren blokken in werd geplaatst (figuur 5). In deze figuur ziet men dit gereedschap, zoals het voorkomt op een grafmonument dat dateert uit 100 n. Chr. De produkten die hiermee vervaardigd werden, waren vaak van een verrassende perfectie (figuur 6). Deze Romeinse munt is geslagen ter gelegenheid van de verovering van Jerusaleem in 70 n. Chr.

In historisch opzicht geleide de eerder vermelde techniek om stenen te bewerken tot het ontstaan van de slijpmachine [1]. Het toenemende gebruik van ijzer, en later van staal, voor wapens en snijgereedschappen bracht de mens in het begin van onze jaartelling er al snel toe een steen — bewerkt als de armbandringen van de Keltische vrouwen — te gebruiken om snel en efficiënt een scherpe snijkant te realiseren. De eerste afbeelding van een slijpmachine is te vinden in het Utrechts Psalmboek van 850 n. Chr. (figuur 7).

De slijper zit op een paal boven de lengteas van de slijpmachine, op een hoogte die ongeveer gelijk is aan de straal van de slijpsteen. Terwijl zijn assistent de slijpsteen door middel van een kruk ronddraait, leunt de slijper voorover en scherpt het zwaard dat zich tussen zijn uitgestrekte armen bevindt. De slijper kan op deze wijze zijn gewicht gebruiken om de aanzet tijdens het slijpen te garanderen en hij kan tegelijkertijd de bewerking nauwkeurig in de gaten houden. Het is opmerkelijk te noemen dat deze machine tot op het einde van de vorige eeuw praktisch onveranderd is gebleven. Slechts in de afgelopen zeventig jaar heeft de slijpmachine uit het Utrechts Psalmboek zich ontwikkeld tot een gereedschapswerktuig van hoge perfectie.

De aandrijving van de slijpmachine is van het begin af aan een andere geweest dan die van de draaibank. Zoals we reeds gezien hebben bestond bij de eerste

draaibanken de aandrijving uit een snaar die enkele malen om de hoofdspil of het werkstuk was geslagen. Door de draaiershulp werd beurtelings aan beide einden van de snaar getrokken waardoor het werkstuk een heen- en weergaande draaiende beweging kreeg. Deze wijze van aandrijven vereiste een grote mate van handigheid van de draaier, omdat uiteraard slechts verspaand kon worden in de tijd dat het werkstuk naar het gereedschap toedraaide. Een verdere ontwikkeling in de aandrijving kan men zien in de zg. wipdraaibank (figuur 8).

De afbeelding toont een Duits exemplaar van dit type daterend uit 1395. Ook om andere redenen dan de aandrijving is dit voorbeeld interessant. We zien hier voor de eerste maal een belangrijke eigenschap van het moderne gereedschapswerktuig nl. stijfheid naar voren komen. Ofschoon geheel vervaardigd van hout, zijn het bed en de vaste kop van zeer gedegen constructie. De afbeelding toont eveneens dat de losse kop ingesteld kan worden naar de lengte van het werkstuk.

Op dit moment zijn wij aangekomen in een tijdvak van de geschiedenis dat bekend staat als de honderdjarige oorlog. Zoals wellicht enkelen van u zich zullen herinneren is deze naam gegeven aan de periode van 1338 tot 1453 waarin een reeks van veldslagen tussen Engeland en Frankrijk werd geleverd. De gereedschapswerktuigen zoals tot nu toe beschreven worden meestal met de term ambachtelijk aangeduid. Zij doen nog weinig vermoeden van de gewedige ontwikkeling die deze werktuigen op het einde van de achttiende en in het begin van de negentiende eeuw zullen gaan doormaken. Toch zijn er ten tijde van de honderdjarige oorlog en de daaropvolgende Renaissance- en Baroktijd reeds zaken en personen aan te duiden die anticiperen op de Industriële Revolutie.

In het jaar 1364 voltooide Giovanni De'Dondi, hoogleraar in de astronomie aan de universiteit van Padua, na zestien jaar werken zijn planetarisch uurwerk, een instrument van verbazingwekkende ingewikkeldheid en precisie. Volgens een uit die tijd daterende beschrijving was de klok geheel uit brons en koper vervaardigd. De benodigde tandwielen waren met de hand gestoken waarbij De'Dondi in de een of andere vorm gebruik maakte van een verdeelmachine om de nauwkeurigheid van de overbrengingen te realiseren.

De belangstelling voor uurwerken en andere instrumenten zoals de thermometer, de verrekijker en de microscoop, had tot gevolg dat in de eeuwen juist voorafgaande aan de Industriële Revolutie het maken van instrumenten ver boven het algemene peil van de metaalbewerking stond. Zo had de instrumentmaker in deze periode reeds kleine gereedschapswerktuigen ontwikkeld voor het nauwkeurig op maat en vorm draaien van kleine asjes en het vervaardigen van tandwielen en schroefdraad. Een merkwaardig voorbeeld van het laatste vormt een schroefdraadsnijbankje van een Duitse klokkenmaker uit 1480, waarbij de schroefdraad van de hoofdspil overgebracht wordt op het werkstuk (figuur 9).

Opvallend hierbij is dat de beitel op een dwarslede is bevestigd. Hiermee kan met behulp van een schroefmechanisme de diepte van de te snijden schroefdraad ingesteld worden. Het lijkt aannemelijk te veronderstellen dat de klokkenmaker met dit mechanisme ook de techniek van het in etappen snijden van schroefdraad beheerste.

Omstreeks het jaar 1500 maakte het Italiaanse genie Leonardo da Vinci een aantal schetsen van gereedschapswerktuigen die eveneens onze aandacht verdienen. Het betreft een draaibank, een schroefdraadsnijbank, een pijpenboorbank en verschillende typen slijp-



Fig. 8 Duitse wipdraaibank, 1395

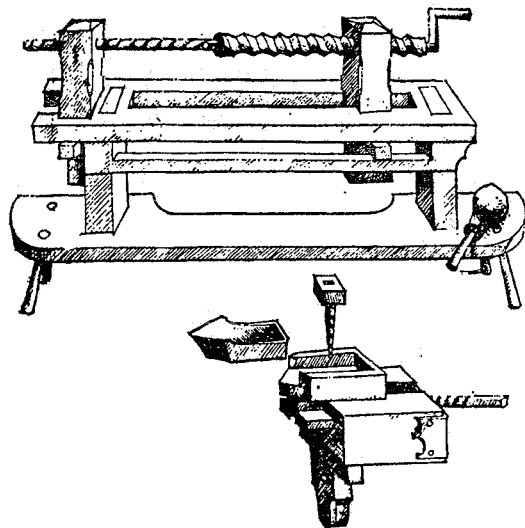


Fig. 9 Schroefdraadsnijbankje van een Duitse klokkenmaker uit 1480

banken. De schetsontwerpen zijn vaak zo volledig uitgewerkt dat verschillende musea in Europa op dit moment werkende modellen van deze werktuigen hebben laten vervaardigen (figuur 10).

Dit is een model van de reeds genoemde schroefdraadsnijbank dat te zien is in het Science Museum te South Kensington. De te vervaardigen schroefspil bevindt zich tussen twee leischroefspillen die de slede met de beitel voortbewegen. Door de overbrengingsverhouding van de aandrijvingswielen te wijzigen is het mogelijk de spoed van de te snijden schroefdraad te veranderen. In zijn eigen tijd baarden de schetsen van Da Vinci behalve bij zijn leerlingen, weinig opzien. De

gemeenplaats dat Leonardo dat Vnci zijn tijd ver vooruit was, vindt dan ook voor een niet gering deel zijn rechtvaardiging in het feit dat de tijd waarin hij leefde — de Renaissance — rijk aan gedachten, doch arm aan daden was.

Aan de vooravond van de Industriële Revolutie — in het jaar 1701 — verschijnt in Parijs een boek getiteld: *L'art de tourner* van de hand van de Franse monnik, frère Charles Plumier, van de orde der Minderbroeders [6]. Het boekwerk geeft een uitstekend overzicht van het draaien in die tijd. Over het aanzien van het vak

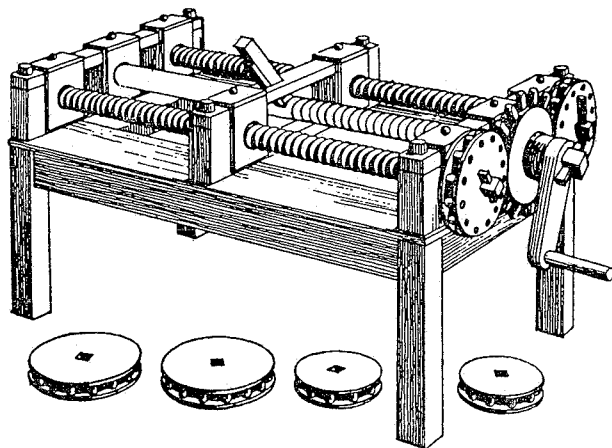


Fig. 10 Model van de schroefdraadsnijmachine van Leonardo Da Vinci

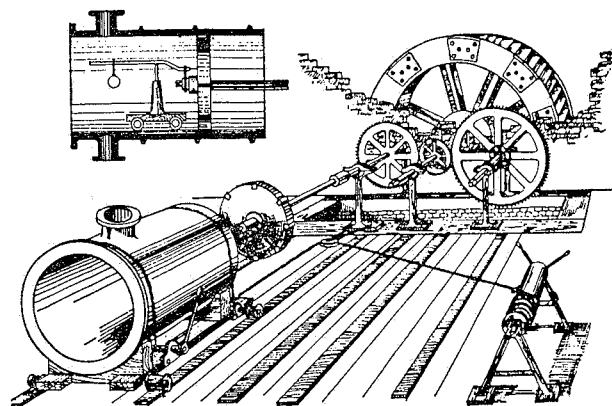
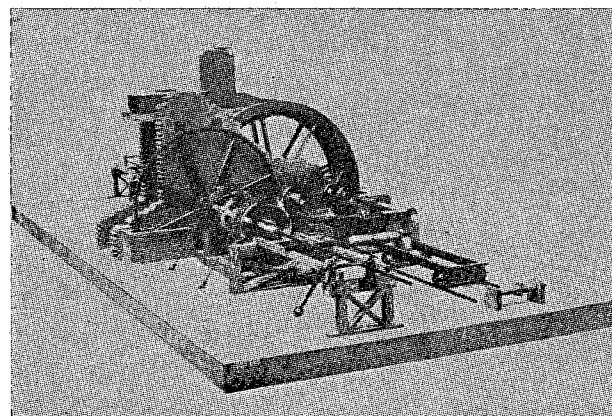


Fig. 11 Cilinderboorbank van John Smeaton, achttiende eeuw

Fig. 12 Cilinderboorbank van John Wilkinson, 1775



schrijft de monnik een interessante zin in het voorwoord namelijk: 'La Noblesse peut s'y occuper les jours d'hiver & les temps pluvieux étant à la ville ou à la campagne, pour passer quelques heures de loisir'. Het is een gedeeltelijke typering van de plaats van het vak in de toenmalige samenleving: voor edelen een verfijnde hobby, voor anderen een tamelijk primitief handwerk ter voorziening in de dagelijkse levensbehoefte.

De reeds aangeduide toenemende vraag naar instrumenten in de zestiende en zeventiende eeuw, breidde zich in het begin van de achttiende eeuw uit naar andere gebieden zoals vuurmonden en textielmachines [1]. Op zichzelf genomen zou dit geen reden zijn voor het ontstaan van de reeds enkele malen genoemde Industriële Revolutie in deze tijd, alhoewel het er zeker toe heeft bijgedragen. Op het einde van de zeventiende eeuw gebeurt er echter in Engeland iets merkwaardigs: er ontstaat een tekort aan hout. Hierdoor werd de belangstelling voor hout als constructiemateriaal noodgedwongen verlegd naar ijzer. Aanvankelijk werd van het ruwijzer slechts gietijzer gemaakt en we zien dan ook in deze periode steeds meer werktuigen verschijnen waarvan de belangrijkste onderdelen van dit materiaal vervaardigd zijn. Wat later, ik spreek nu van omstreeks 1750, gaat men er ook toe over om koolstofstaal te vervaardigen, hetgeen voor de aanmaak van beitels een ware vooruitgang betekende. Overigens was het weer de horloge-industrie waar het koolstofstaal als constructiemateriaal voor veren zijn eerste toepassing vond (1746, Benjamin Huntsman, Sheffield).

Een met deze ontwikkeling gepaard gaande toenemende vraag naar steenkool bracht het nijpende energietekort in de toenmalige mijnen aan het licht. Het was duidelijk dat hier niet meer door het oude begrip paardekracht aan voldaan kon worden. In 1712 introduceerde de Engelsman Thomas Newcomen de eerste stoommachine, weldra gevolgd door de meer geavanceerde modellen van de Schot James Watt. Het eigen vak houdt uiteraard gelijke tred met de vervaardiging van deze stoomwerktuigen: een stoomcilinder kan slechts vervaardigd worden op een cilinderboorbank, die aan zekere eisen voldoet (figuur 11).

Men ziet hier de boorbank van de ingenieur John Smeaton, die hij gebruikte om de cilinders van het Newcomen-type stoommachine te vervaardigen. De cilinder is op een slede geplaatst; de aanzet wordt door middel van een lierwerk verzorgd. Verreweg het meest interessante deel van dit werktuig is linksbovenaan in de figuur getekend. Het is een poging om de ongewenste doorbuiging van de lange boorbaar te voorkomen. Het is duidelijk dat deze methode vrij weinig effect heeft, omdat geen gelijke snedediepte over de omtrek van de cilinder gegarandeerd kan worden. Teneinde dit te ondervangen bewerkte Smeaton een cilinder viermaal, waarbij na elke bewerking de cilinder over 90° gedraaid werd. Ondanks deze inspanningen kon men op deze bank eigenlijk geen echt inwendig cilindrisch werkstuk vervaardigen.

De verwezenlijking van de ideeën van de in wetenschappelijk opzicht zeer belangrijke James Watt (1736-1819) over het gebruik van stoom als energiebron, vereisten een nauwkeurige afdichting van de zuiger in de cilinder [7]. Deze dwingende eis leidde er toe dat John Wilkinson (1728-1808) in 1775 een totaal nieuw type boorbank ontwierp, waarop grote cilinders met voldoende nauwkeurigheid vervaardigd konden worden (figuur 12).

De holle boorbaar wordt aan beide einden door lagers ondersteund, terwijl de cilinder zorgvuldig is vastgezet op de fundatie van de machine. De snijkop draait mee

met de boorbaar. De aanzet wordt verzorgd door een tandheugel dat in de holle boorbaar doorloopt tot aan de snijkop. Heugel en snijkop zijn zodanig verbonden, dat de heugel deze snijkop over de boorbaar kan verschuiven, terwijl de snijkop met de boorbaar ronddraait. U ziet dat de aanzet hier zelfs automatisch kan gebeuren, door middel van het rondsel, de kruk en het gewicht op het einde van deze kruk. Het succes van de boorbank is te danken aan het inbouwen van de nodige stijfheid op de juiste plaatsen van de machine. Gedurende twintig jaar werden alle cilinders die Watt nodig had, gegoten en bewerkt door Wilkinson.

De geschetste ontwikkeling van de cilinderboorbank staat niet op zichzelf [1]. Soortgelijke vooruitgang is te bespeuren bij kanonboorbanken uit die tijd. We weten dit o.a. uit de verzameling tekeningen die De Beer ontdekt heeft van Pieter Verbruggen, de zoon van Jan Verbruggen, over het vervaardigen van kanonnen in het Royal Arsenal. Het is ook aannemelijk dat Wilkinson op de hoogte was van bepaalde constructies die Verbruggen in zijn werktuigen toepaste.

Er zijn vele personen rond 1800, die met betrekking tot het vakgebied de moeite van het vermelden waard zouden zijn. Maakt men een keuze, dan is dat niet omdat al zijn gedachten over gereedschapswerktuigen nu zo oorspronkelijk waren. Henry Maudslay (1771-1831) bezat echter het vermogen om alle ideeën die tot nu toe over de metaalbewerking waren ontstaan te analyseren en te selecteren en de goede ervan te zamen met enkele van zijn eigen ideeën te combineren in werktuigen van uitzonderlijke klasse [1] [7]. Als twaalfjarige knaap was hij gaan werken bij het Royal Arsenal waar hij kennis maakte met Verbruggen. Op achttienjarige leeftijd treedt hij als smid in dienst bij Joseph Bramah (1748-1814), die een werkplaats had in Denmark Street, St-Giles, waar voornamelijk sloten werden gemaakt. In 1797 verlaat Maudslay, zoals dat heden ten dage nog wel eens gebeurt, om een loonkwestie de werkplaats van Bramah en richt een eigen zaak op. De firma Maudslay, Sons and Field, zoals deze later zou gaan heten, zou een leidende positie op het gebied van de gereedschapswerktuigen in de gehele negentiende eeuw blijven behouden.

Maudslay zag in dat het nauwkeurig vervaardigen van een cilindervormig oppervlak op een gereedschapswerktuig direct afhankelijk is van de nauwkeurigheid waarmee het gereedschap zich langs een rechte lijn evenwijdig aan de as van de cilinder kan bewegen. Deze beweging realiseerde hij door de beitel op een slede te bevestigen, die geleid werd door twee platte vlakken. De gewenste nauwkeurigheid van het produkt was nu afhankelijk geworden van de nauwkeurigheid waarmee de platte vlakken i.c. geleidingen in het gereedschapswerktuig gerealiseerd konden worden. Hij voerde hiertoe het vlakschrappen in van geleidingen waarvoor hij moedervlakplaten als standaard gebruikte. Nu komt natuurlijk de vraag op hoe Maudslay aan zijn eerste vlakke vlakplaat is gekomen. Het antwoord is even simpel als verrassend: hij maakte hem zelf door tegelijkertijd drie vlakplaten te vervaardigen waarvan hij er tijdens de fabricage om beurten ter controle een als standaard gebruikte. Een ander element dat Maudslay in de constructie van het gereedschapswerktuig invoerde was de schroefspil. Het is een belangrijk element omdat een ronddraaiende beweging daarmee omgezet kan worden in een rechte lijnige terwijl tegelijkertijd de beweging van het werkstuk eenduidig gekoppeld wordt met de beweging van de beitel (figuur 13).

Men ziet hier de eerste, geheel uit metaal vervaardigde, schroefdraadsnijbank die Maudslay in 1800 bouwde. Praktisch alle elementen van een hedendaags gereed-

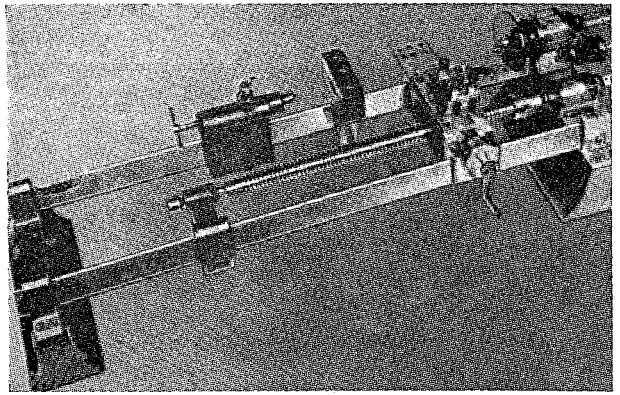


Fig. 13 Schroefdraadsnijbank van Henry Maudslay, 1800

schapswerktuig zijn er in aanwezig. In dit verband zou gewezen moeten worden op de geleidingen, de schroefspil en de slede met daarop de dwarsslede waarvan de positie met behulp van een nonius kan worden afgelezen. Het is duidelijk het prototype van onze moderne draaibank.

Het lukte Maudslay zelfs om met behulp van een nauwkeurige schroefdraad een micrometer te vervaardigen, waarvoor hij een nauwkeurigheid van $2,5 \mu\text{m}$ claimde. Het cijfer is misschien wat te optimistisch doch het illustreert de geweldige stap die tijdens de Industriële Revolutie op het gebied van de metaalbewerking gezet was.

Onder de vele uitstekende ingenieurs, die voor langere of kortere tijd onder Maudslay hebben gewerkt, neemt de bekende Joseph Whitworth (1803-1887) een bijzondere plaats in. Hij maakte zijn werktuigen niet zozeer om er weer kwalitatief betere gereedschapswerktuigen voor zichzelf mee te kunnen bouwen, doch gewoon om ze te verkopen aan andere ondernemers. Op de Great Exhibition te Londen in 1851 is Whitworth dan ook met drieëntwintig verschillende typen werktuigen vertegenwoordigd. Engeland was de leidende natie van de gereedschapswerktuigenindustrie, althans zo leek het op dat moment.

Op de reeds genoemde tentoonstelling was er ook een stand van de Amerikaanse firma Robbins & Lawrence die wapens met verwisselbare onderdelen tentoonstelde. Het was dit aspect dat de Engelse technici tot nu toe verwaarloosd hadden. In 1853 bezoekt een groep ingenieurs uit Engeland naar aanleiding hiervan de Verenigde Staten met als direct resultaat dat in 1855 een nieuwe fabriek van geweren van de Engelse regering te Enfield uitgerust wordt met honderdvijftig Amerikaanse gereedschapswerktuigen. De nog pas in 1783 onafhankelijk geworden Engelse koloniën nemen het initiatief over!

De vraag naar grote aantallen onderling verwisselbare produkten in de Amerikaanse wapen- en textielindustrie heeft zijn invloed gehad op de ontwikkeling van het gereedschapswerktuig in de Nieuwe Wereld. De Lincoln-freesbank (Frederick Howe, 1848) en de revolverbank van Stephen Fritch (1845) zijn hiervan typische voorbeelden. Het leidde tot een snelle invoer van gemechaniseerde werktuigen zoals deze schroefboutenautomaat van Christopher Spencer uit 1873 (figuur 14).

De cilinders waarop met kammen het programma voor een bepaald produkt vastgelegd kan worden noemt Spencer in al zijn beschrijvingen enthousiast brain wheels.

Thans zijn wij beland in het begin van onze eeuw. Het tijdstip vormt tevens het begin van het weten-