Svetsning och skärning i historisk belysning

Av Ebbe Almqvist och Gösta Ferneborg

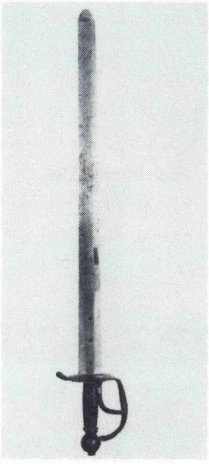
Svetsning, eller sammanfogning av upphettade metaller, är sannolikt ett av världens äldsta yrken. I Bibelns Moseböcker (1 Mos 4:17–22) kan läsas att i Adam och Evas sjunde generation fanns en man, som hette Tubal-Kain. Om honom står att "han var smed och gjorde alla slags redskap av koppar och järn". I en äldre utgåva av Bibeln står dessutom att "han kunde konsten att homogent sammanfoga metaller". Man kan därför säga att Tubal-Kain var den förste kände representanten för svetsaryrket.



1. Rekonstruktion av drottning Schubads huvud med det diadem, som fanns i drottningens grav i Ur. Diademet är filigransvetsat. Nu i Philadelphia-universitetets museum.

Vällsvetsning

Konsten att svetsa och löda är av mycket gammalt datum. Sedan vår kultur började växa fram i Mesopotamien och Egypten har människan varit intresserad av att förfärdiga olika föremål såsom redskap, vapen och smycken i metall. Metaller sammanfogades genom "vällning" eller "hetsning", varvid metallen smältes och genom hårdlödning där smält lod anbringades i fogen.



2. Detta svärd, tillverkat i Wira Bruk ca 1650, finns nu i Tekniska museets samlingar. Klingan uppvisar en väl utförd vällsvets. Vällda svärd ända från 200-talet f Kr har påträffats i svenska forngravar.

I drottning Schubads grav i den sumeriska staten Kaldeens huvudstad Ur vid Eufrat har man funnit en hårdlödd guldkanna från ca 3200 f Kr. Efter det att hettiterna i Anatolien (nuvarande Turkiet) uppfunnit konsten att utvinna järn ur malm (ca 1500 f Kr) sammanfogade deras smeder järnstycken genom vällsvetsning. Guld, tenn, koppar, järn, bly, silver och kvicksilver användes då i Egypten. I Tutanchamons grav från ca 1350 f Kr har man hittat ett s k huvudstöd i järn, svetsat genom vällning.

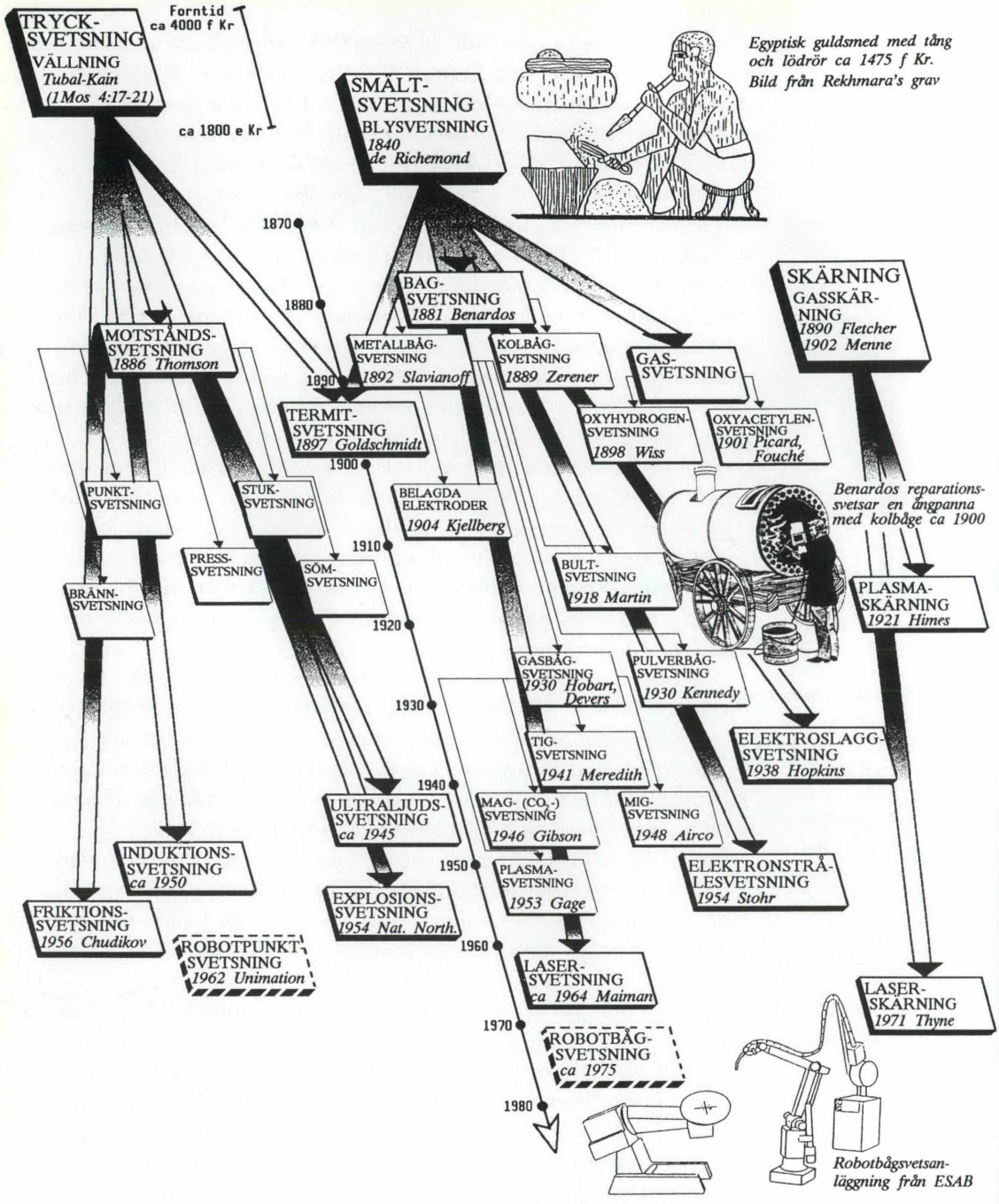
Det hantverksmässiga sättet att sammanfoga metaller genom smide var således tidigt känt inom smedfacket. Man visste att när järnet var uppvärmt så att det "svettades" var ytan så nära smältgränsen att en sammanfogning genom hamring var möjlig. Även om tekniken och sättet att utföra denna sammanfogning förändrades genom århundraden var principen dock densamma.

Metoden kunde i huvudsak endast användas för det då vanliga olegerade järnet. Smedernas viktigaste kundgrupp fanns före industrialismen inom jordbruksnäringen. Det var bönder som behövde hjälp med reparationer av diverse redskap. Det kan som ett kuriosum nämnas att det ännu i dag är vanligt att kalla de då mest vanliga järntyperna för "vanligt enkelt bondjärn".

Ända till 1880-talets mitt var vällning den enda svetsmetoden. Då startade en revolutionerande epok. Inom loppet av 15 år utvecklades nya metoder som ledde till att svetsområdet kunde utvidgas också till hårdare stålsorter, till gjutjärn och även ickejärnmetaller.

Industrialismen skapar behov

Bessemer- och Siemens-Martin-processerna för produktion av stål under andra hälften av 1800-talet gjorde att stålet blev tillgängligt i sådana mängder och till sådana priser att det inom kort blev det viktigaste konstruktionsmaterialet. Samtidigt fick verkstadsindustrin en snabb utveckling bl a genom att andra industrigrenar och jordbruket mekaniserades. Maskiner övertog arbetsmoment som tidigare utförts hantverksmässigt och verkstäder kunde nu börja specialisera sig på masstillverkning av vissa produkter. Stålets egenskaper kunde dock inte till fullo utnyttjas med de traditionella mekaniska sammanfogningsmetoder som stod till buds – nitning, kilning, skruvförband och lödning. Först genom uppfinningen av nya svetsnings- och skärningstekniker eliminerades dessa begränsningar.



3. Översikt, tidpunkter för olika svetsmetoders introduktion.
© E Almqvist.

Vad som tidigare begränsat utvecklingen av svetstekniken var att man inte hade tillgång till värmekällor med tillräckligt höga temperaturer. Sannolikt var då stenkolsfyren med blästerluft den bästa värmekällan, tillräcklig för att bringa stål till välltemperatur. Under 1800-talet utvecklades nya energikällor, som eliminerade tidigare begränsningar.

Svetsteknikens moderna utvecklingshistoria kan översiktligt indelas i tre skeden:

1. Förkrigstiden ca 1880–1915 var pionjärepoken då de grundläggande svetsmetoderna utvecklades och togs i bruk. Speciellt började under senare delen av denna epok gassvets- och gasskärningsmetoder för reparationsarbeten att användas inom tillverkningsindustrin.
2. Mellankrigstiden ca 1920–1935 var en mognadsfas då både smält- och trycksvetsmetoder utvecklades för användning i produktion. Bågsvetsmetoder tog över en del av gassvetsmetodernas marknad. Svetsteknologi och svetsmetallurgi började bli accepterade som tekniska vetenskaper och internationella samfund och samarbetsorgan inom svetsbranschen skapades.
3. Krigsåren och efterkrigstiden ca 1940–nutid är högteknologieran då svetsmetoder för nya lättmetaller och legeringar efterfrågas. Nya svetsmetoder skapades då den moderna gasseparationstekniken utvecklades på 1940-talet. Detta förde med sig tillgång i stor skala på ädelgaser, främst argon och helium, som starkt bidrog till en ökad skyddsgasanvändning vid svetsning. Nya speciella svetsmetoder tas fram och mekaniseringen och automatiseringen av svetsprocesser fortgår samtidigt som svetsarens arbetsmiljö förbättras.

Pionjärepoken ca 1880–1915

Svetstekniska uppfinningar

I perioden fram till första världskriget utvecklades de tre viktiga svetsmetoder, som fortfarande utgör basen för den nuvarande svetstekniken. De tre metoderna, som skiljer sig inbördes med avseende på uppvärmningssättet är:

- elektrisk motståndssvetsning
- elektrisk ljusbågssvetsning
- gassvetsning

Dessa de första svetstekniska uppfinningarna medverkade i en produktionsteknisk revolution efter sekelskiftet. Svetsning blev så

småningom en naturlig del av konstruktionstekniken. Svetsbranschen skapade nya arbetsplatser och nya yrken. Många nitare kom dock att bli arbetslösa då deras yrkesspecialitet ersattes med svetsning. Men som vid de flesta nya tekniska landvinningarna tog det lång tid innan uppfinningen slog igenom ekonomiskt.

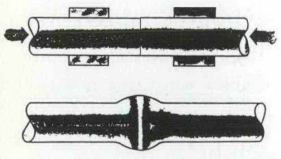
Samtliga tre metoder fick olika former och tillämpningar. Inom motståndssvetsning sammanföres metoderna i gruppen *trycksvetsning*, dit även den gamla smidesmetoden kan hänföras.

De båda andra metoderna representerade något helt nytt i det att metalldelarna, som skulle svetsas, sammansmältes i själva svetszonen. De benämndes därför *smältsvetsning*sprocesser.

Termitsvetsning, som kom och blomstrade under åren kring sekelskiftet kan vara tryck- eller smältsvetsning eller en kombination.

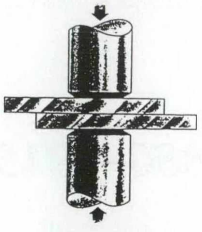
Elektrisk motståndssvetsning

Vid motståndssvetsning sammanfogas metallytor utan att tillsatsmaterial tillförs. Motståndssvetsning är en trycksvetsmetod, dvs arbetsstyckets fogytor utsätts under svetsningen för tryck vid svetsstället. Samtidigt värms svetsstället med en elektrisk ström, som leds genom arbetsstycket. Värmemängden beror bl a på det elektriska motståndet i svetsstället.



Stuksvetsning

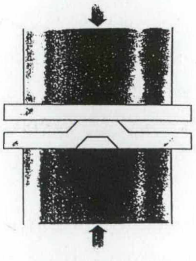
Engelsmannen James Joule lyckades redan 1856 sammansmälta ett knippe koppartrådar med hjälp av ett elektriskt motstånd. Den första brukbara motståndssvetsmetoden utvecklades 1883–85 av den amerikanske professorn Elihu Thomsen. Han uppfann en maskinell svetsmetod lämplig för sammanfogning av tråd- och stångformade delar, som svetsades med ändarna mot varandra. Delarna som skulle svetsas gavs svetstemperatur genom strömgenomföring och pressades därefter samman i mjukt (deg-) tillstånd. Metoden kallas *stuksvetsning* (fig 4).



Punktsvetsning

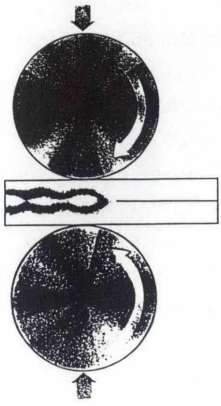
Efter sekelskiftet utvecklades nya maskiner för motståndssvetsning. Först kom maskiner för överlappssvetsning av tunnplåt enligt tre olika metoder *punktsvetsning, pressvetsning* och *sömsvetsning* (fig 4).

Punktsvetsning är idag den vanligaste och mest använda motståndssvetsmetoden. Den ersätter nit- och bultförband vid hopfogning av överlappande plåtkanter med plåttjocklek upp till 2×8 mm. Vid svetsningen erhålles strömgenomföringen via två stavformiga kopparelektroder, som maskinellt pressar plåtarna mot varandra.

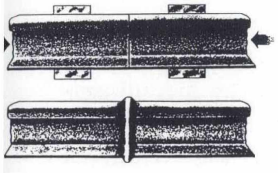


Pressvetsning

Metoden användes i huvudsak inom bilindustrin, samt vid tillverkning av bl a hushållsmaskiner och kontorsmaskiner m m. Punktsvetsningen är den vid biltillverkning mest robotiserade eller mekaniserade svetsmetoden. Vid punktsvetsning av en bilkaross till en Volvo 740 krävs ca 5 000 svetspunkter à 5 mm (dvs 25 längdmeter).



Sömsvetsning



Brännsvetsning

4. Motståndssvetsmetoder, principskisser.

Pressvetsning är en med punktsvetsning nära besläktad metod. Den har fått sitt namn av att svetsmaskinernas strömförande elektrodspetsar utformats som plana backar, mellan vilka de delar, som skall svetsas, läggs in och därefter pressas ihop vid svetsningen. Till skillnad mot punktsvetsning, där varje svetsställe ger endast en punkt, kan vid pressvetsning de svetsade detaljerna utformas så att flera svetspunkter kan erhållas samtidigt.

Vid sömsvetsning ersättes elektrodspetsarna med strömförande elektrodrullar mellan vilka arbetsobjektet matas fram under tryck. Metoden ger täta sömmar i tunnplåt upp till 3 mm tjocklek och användes därför vanligen vid tillverkning av bl a diskbänkar.

Även *brännsvetsningen* utvecklades vid sekelskiftet. Denna motståndssvetsmetod är i förhållande till de övriga något mera komplicerad. Den används i allmänhet för betydligt grövre material som räls, stångmaterial och kättingar (fig 4).

På grund av arbetsobjektens dimensioner kräver brännsvetsningen stora strömkällor och maskiner med mycket stor stukkraft. ESAB i Laxå, som är en av världens största tillverkare av maskiner för brännsvetsning, har tillverkat maskiner för brännsvetsning av material med svetsytor upp till ca 2,5 dm^2.

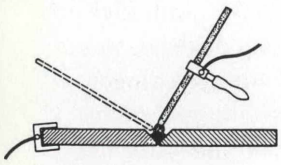
I bl a Tyskland och USA slog motståndssvetsningen igenom i industriell produktion ett par decennier före ljusbågssvetsningen. Den procentuella fördelningen mellan de fem metodernas användning i Sverige är ungefär följande:

Punktsvetsning	55 %
Press-svetsning	30 %
Sömsvetsning	7 %
Brännsvetsning	5 %
Stuksvetsning	3 %
	100 %

Elektrisk ljusbågssvetsning

Med en Voltas stapel som spänningskälla framställde engelsmannen Humphery Davy år 1800 en elektrisk ljusbåge mellan två kolelektroder. Senare visade Davy att en stabil ljusbåge kan åstadkommas, en upptäckt, som hade stor betydelse för belysningstekniken. Den energirika ljusbågens användning för svetsning patenterades 1842 av engelsmannen William Edwards Staite, men det dröjde flera decennier innan detta kom till praktisk användning.

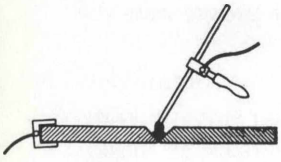
Under decennierna före sekelskiftet kom dock den elektriska ljusbågens mycket höga temperatur att utnyttjas vid sammansmältning av metalldelar. Vid "The First World Electrical Exhibition" i Paris 1881 demonstrerade den ryske uppfinnaren Nicolaus Benardos sin metod den s k "Benardos kolbågsmetod". Prin-



5. Benardos kolbågmetod, princip. Källa: Sveiseteknikk 4, 1982.

cipen var att en ljusbåge skapades mellan arbetsstycket, som kopplades till ena polen på en strömkälla och en stavformad kolelektrod fastsatt i en isolerad hållare kopplad till den andra polen (fig 5). På grund av den starka värmeutvecklingen smälte arbetsstycket lokalt samtidigt som ett tillsatsmaterial i form av en tråd eller en metallstav kunde smältas i svetsfogen. Kolstavens korta livslängd och risken att härdeffekter kunde uppstå då kol tillfördes smältan medförde praktiska problem.

Det var därför ett stort steg framåt då ryssen Nicolai Slavianoff 1892 fick patent på sin bågsvetsningsmetod där han till skillnad från Benardos använde en metallstång som elektrod i stället för kolstaven. Samtidigt med smältningen i svetszonen fick han kontinuerlig smältning av metallelektroden (fig 6). Den avsmälta elektrodmetallen överfördes genom ljusbågen till svetszonen dvs som samtidig elektrod och tillsatsmaterial.



6. Slavianoffs metallbågsvetsmetod, princip. Källa: Sveiseteknikk 4; 1982.

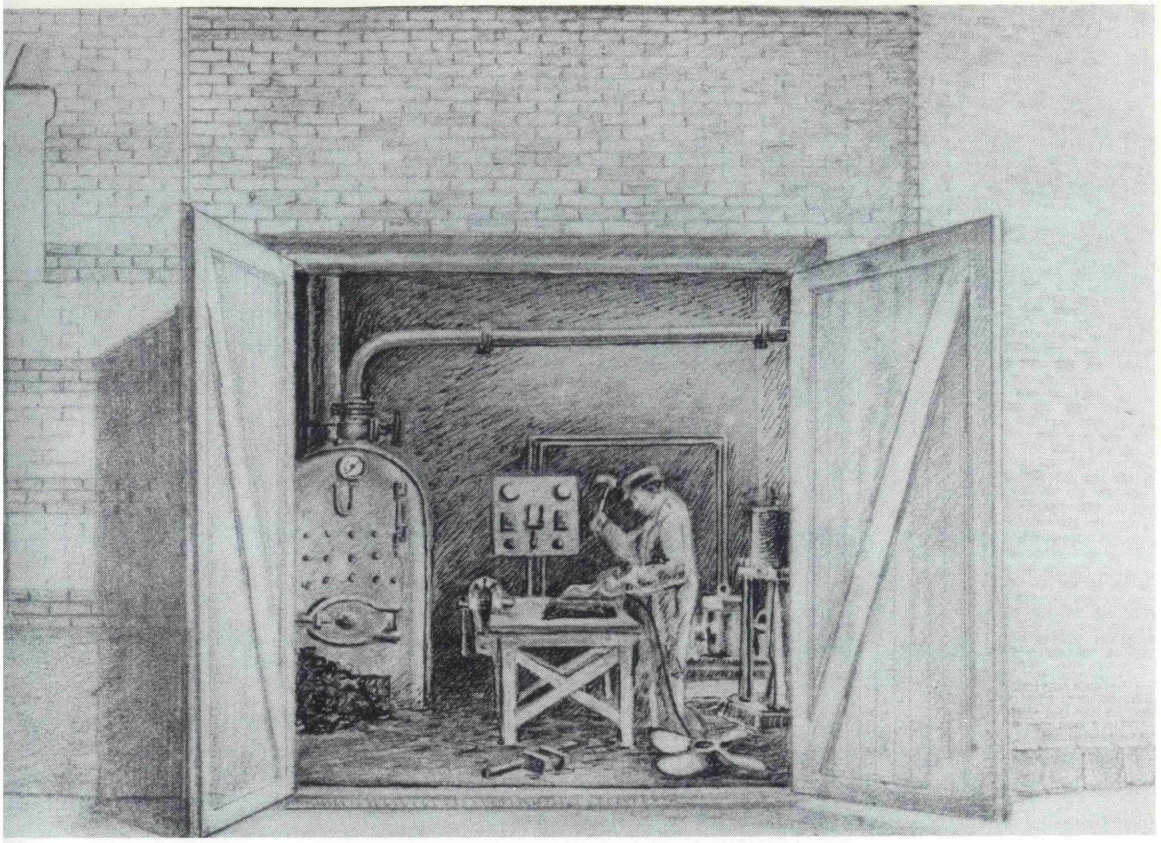
Benardos metod användes med växlande framgång till specialuppgifter som reparation av gjutgods samt svetsning av koppar och tunnplåt. I det långa loppet fick dock Slavianoffs metallbågsmetod största betydelsen. Fortfarande vid sekelskiftet var dock inte metoden så utvecklad att svetsningen blev en självklar sammanfogningsmetod. Det var svårt att uppnå pålitliga svetsförbindelser utan porositet och sprickbildningar. Detta sammanhängde delvis med att det inte fanns lämpliga svetsströmaggregat men största problemet var nog de elektroder som användes. Ett annat problem, som försämrade dåtida svetsresultat, var att smältbadet inte skyddades tillräckligt mot luftens oxygen och nitrogen och svetsen därför fick dåliga hållfasthetsegenskaper.

Belagda elektroder

Om svetsningen skulle kunna konkurrera ut alternativ som skruvförband, nitning och lödning etc måste metoden avsevärt förbättras i flera avseenden. Dåtida svetsning kunde endast utföras på i huvudsak plana, liggande arbetsstycken. Vid försök till svetsning av rör eller på vertikala objekt ville det smälta materialet från såväl elektrod som arbetsstycke rinna nedåt. Det gällde att hindra luftens oxygen och nitrogen från att förena sig med smältbadet och att finna ett ämne som skyddade dropparna vid övergången från elektrod till arbetsstycke.

Det var den svenske ingenjören Oscar Kjellberg, som med en revolutionerande uppfinning kom att helt förändra hela den framtida elektriska ljusbågssvetstekniken. I mitten av 1890-talet tjänstgjorde han på Svenska Lloyd-ångaren "Bordeaux". Han fick då erfarenhet av de svårigheter man hade att ständigt reparera fartygets gamla ångpanna.

I en rapport skriver Kjellberg: "Tusentals spik måste inköpas, vilka smiddes i kilform och indrevos i de kraftigt frätta och öppna



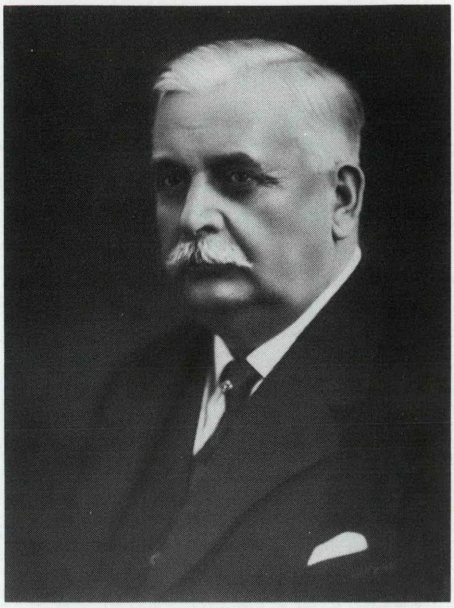
7. Oscar Kjellbergs experimentverkstad vid Stigbergskajen i Göteborg. Teckning av Erik Wilke, anställd vid ESAB 1919–1948. Källa: ESAB.

bottenskarvarne, varefter dessa överdiktades så att det blev möjligt att hålla pannan något så när tät."

Han kände emellertid till att tyska reparatörer börjat använda en typ av svetsning med metallstavar. Efter att ha provat metoden som han inte var nöjd med skrev han: "Det märktes genast när arbetet var färdigt, att det påsmälta materialet ej var homogent utan fullt av blåsor och små sår, så att vid provning vatten sipprade fram genom svetsmassan."

1903 var Oscar Kjellberg maskinchef på den lilla ångaren "Vestkusten". Ångpannan var dålig och behövde repareras. Det var i samband med denna reparation, som Oscar Kjellberg började experimentera med en beläggning på elektroden.

Han skaffade sig en liten experimentverkstad vid Stigbergskajen i Göteborg i närheten av en textilfabrik (fig 7). Där fick han tillstånd att efter arbetstidens slut använda ett 110 volts likströmsnät. Han provade sig fram till ett beläggningspreparat, som förutom järnpulver innehöll ett antal kemiska ämnen. Han doppade



8. Oscar Kjellberg (1870–1931). Källa: ESAB.

järntråden i preparatet som när man stöper ljus och skapade på så sätt en helt ny elektrodtyp.

Några egentliga svetsmaskiner fanns inte utan han använde sig i sina experiment av fabrikens likströmsnät. Den erforderliga strömregleringen åstadkoms med ett "svetsmotstånd", som bestod av en tunna med saltmättat vatten och två kopparplåtar, varmed strömmen kunde regleras.



9. ESABs första logotype då bolaget bildades 1904.

Trots dessa primitiva hjälpmedel lyckades Oscar Kjellberg utveckla den belagda elektroden, som resulterade i att han den 4 oktober 1904 kunde lämna in sin historiska patentansökan. Denna ligger än i dag till grund för all manuell elektrisk bågsvetsning världen över.

För att bättre kunna utnyttja sin uppfinning slog sig Oscar Kjellberg ihop med några kapitalstarka göteborgare och bildade den 17 augusti 1904 Elektriska Svetsningsaktiebolaget (ESAB).

En första åtgärd för ESAB blev att även utveckla mer praktiska strömkällor för svetsning. Från Allmänna Svenska Elektriska Aktiebolaget (ASEA) inköptes redan i december 1904 ett "elektriskt maskineri". Av detta gjorde ESAB sin första egna svetsmaskin, en ångmaskindriven likströmsgenerator, där strömregleringen kunde utföras med hjälp av ett svetsmotstånd. Hela detta "maskineri" placerades på en pråm. Med denna utrustning utfördes svetsreparationer på fartyg och kajanläggningar i Göteborgs hamn (fig 10). Under de första åren tillverkades de nya svetselek-



10. Detta "oljemotordrivna svetsmaskineri" lämnade ström för manuell svetsning. Aggregatet behövde ej anslutas till ett elektriskt nät och kunde köras ända fram till svetsplatsen. Bilden från Milano år 1925. Källa: ESAB.

troderna enbart för eget bruk i samband med reparationsarbeten i hamnen.

Den elektriska svetsningen blev mer och mer känd. Efter några år ville även andra företag pröva metoden. Oscar Kjellberg fann det då nödvändigt att skaffa bättre lokaler där han kunde tillverka elektroder för försäljning. Så startade den process som medförde att elektroden, som fick namnet OK efter uppfinnarens initialer, kunde börja produceras av ESAB i egna fabriker runt om i världen.

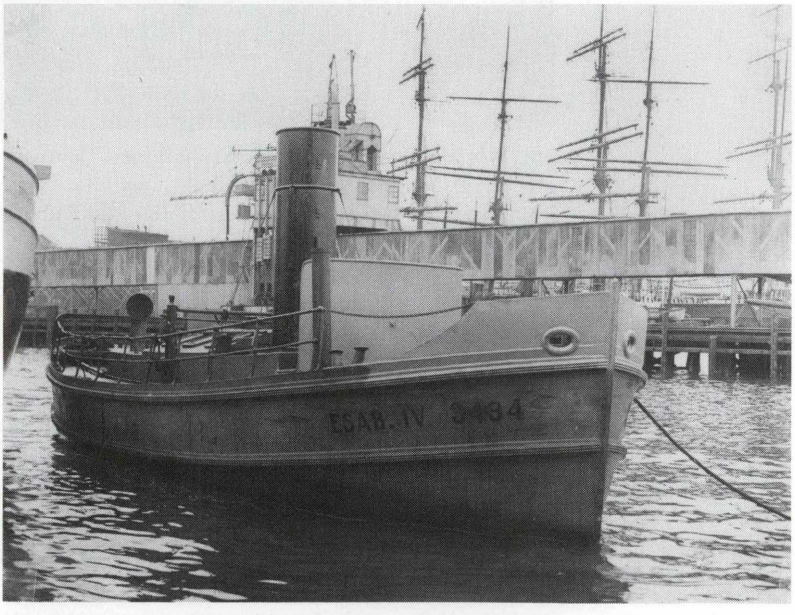
För att bevisa lämpligheten av svetstekniken även för nybygg-

nad av fartyg konstruerade han ett fartyg där inga nitar eller skruvar fanns och där alla förband var svetsade. Bygget utfördes på mycket kort tid på ESAB:s verkstadsområde utanför Göteborg. Fartyget fick namnet ESAB IV och blev världens första helsvetsade fartyg (fig 11). Det sjösattes den 29 december 1920 i närvaro av tekniska experter från fartygsinspektionen och klassificeringssällskapen.

ESAB IV användes som reparationsfartyg i Göteborgs Hamn till 1937 då det såldes till Kockums i Malmö. 1987 köpte ESAB tillbaka fartyget för att i samarbete med Göteborgs Marina Centrum bevara denna unika båt för eftervärlden.

Omkring 1920 sökte ESAB få ett samarbete med ASEA angående tillverkning "af för elektrisk svetsning afsedda dynamos, omformare och transformatorer". Detta samarbete kom aldrig till stånd varför ESAB i stället startade en egen fabrik i Finsterwalde i Tyskland.

Vid andra världskriget konfiskerades denna av de östtyska myndigheterna varför ESAB 1942 flyttade all utveckling och tillverkning av svetsmaskiner till sin nystartade maskinfabrik i Laxå. Även ASEA hade då genom ett dotterbolag, ASEA-Svets, startat tillverkning i Sverige av svetselektroder, strömkällor och maskiner för motståndssvetsning. Denna verksamhet övertogs av ESAB omkring 1965.



11. ESAB IV, världens första helsvetsade fartyg sjösattes 1920. Källa: ESAB.



12. Svetsning av 30 m³ brännoljetank vid ESAB ca 1930. Svetsaggregat ESAB KU-250. Foto TM.

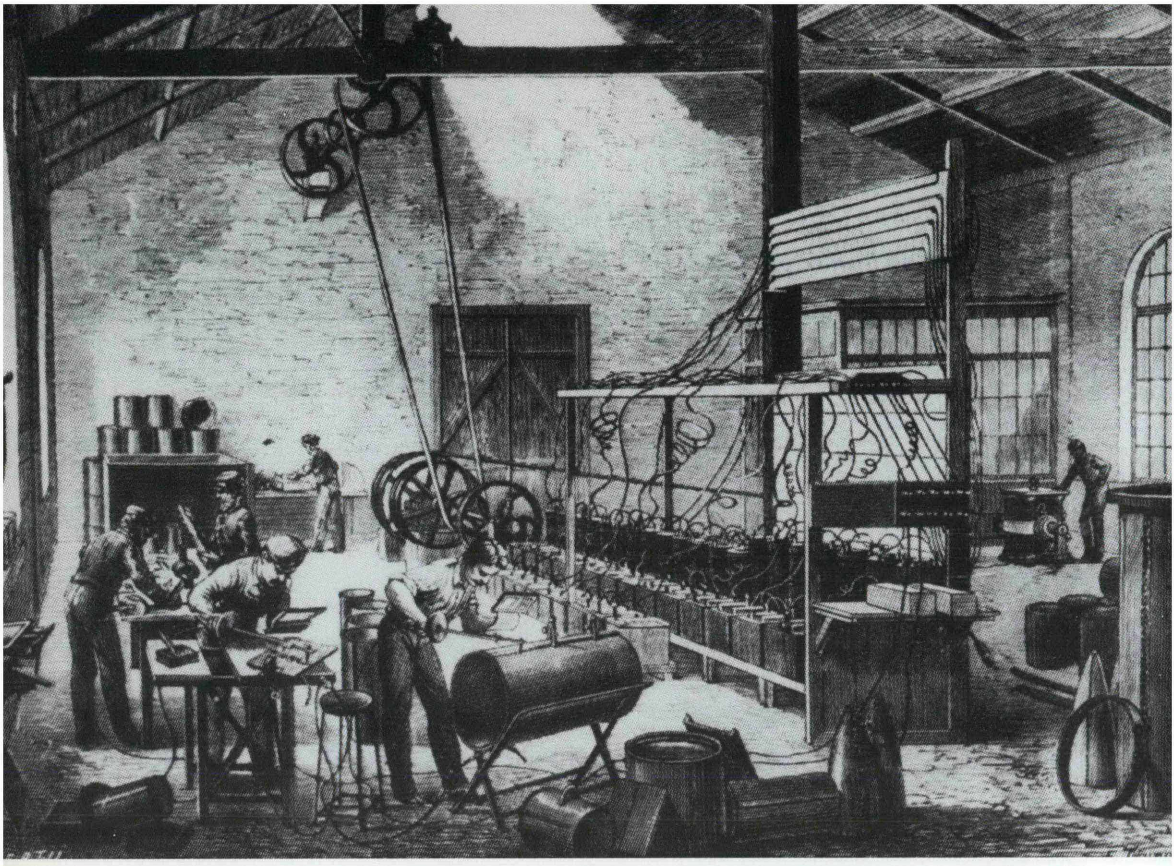
ESAB är i dag världens största tillverkare och leverantör av tillsatsmaterial, maskiner och övrig utrustning för elektrisk ljusbågsvetsning samt skärutrustning.

Strömkällor för bågsvetsning

Först i slutet av 1700-talet kunde man experimentellt framställa elektrisk ström genom att italienarna Luigi Galvani och Alessandro Volta kom med idén till det galvaniska elementet. På kemisk väg kunde de frambringa en elektrisk spänning, som i en ledande krets gav en elektrisk ström.

Engelsmannen Michael Faraday kom 1831 med grundidén till den elektriska transformatorn och generatorn och omvandlingen av mekanisk energi till elektrisk energi. Efter att detta blivit känt gjordes både växelströms- och likströmsgeneratorer över hela världen, men för ganska blygsamma effekter.

Den första praktiskt användbara likströmsmaskinen konstruerades 1870 av belgaren Zenobe Gramme och ett par år senare förbättrades konstruktionen av tysken von Hefner-Alteneck. Det var alltså först under 1870-talet man fick tillgång till riktiga likströmsgeneratorer. Dessa drevs av ångmaskiner eller vattenhjul. Lik-



13. Svetsning 1887 enligt Benardos kolbågsprincip med svetsström från ackumulatorer. Platsen är Monsieur Legrands verkstad i La Chapelle nära Paris. Källa: La Lumière Électrique, 24 no. 25 (1887).

strömsgeneratorerna användes till en början enbart för laddning av batterier och till belysning. Den elektromotoriska driften kom först på 1880-talet då den bl a började ersätta hästen för drivning av spårvagnar. Växelströmmen fick ingen praktisk användning förrän under 1890-talet då trefassystemet och trefassynkronmotorn utvecklades. Tack vare dessa kunde elektrisk kraftöverföring till industrin ske rationellt.

Då Benardos 1881 upptäckte att ljusbågsvärme från kolelektroder kunde användas för smältning av metaller, var detta i samband med tillverkning av elektriska ackumulatorbatterier. Vid dessa tidiga svetsexperiment användes likström från batterier som strömkälla (fig 13).

AEG i Tyskland torde ha varit först på marknaden med en likströmsgenerator för svetsning. Det skedde 1905 då AEG konstruerade en generator, som inte bara hade reglerbar spänning och ström för ljusbågen, utan också lämpliga dynamiska egenskaper, för att en stabil ljusbåge skulle erhållas.

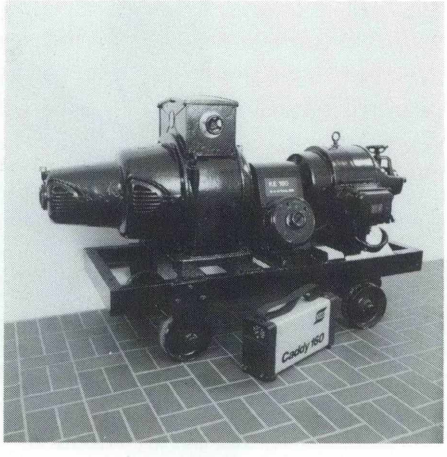
Till generatorn kopplades en trefas asynkronmotor och därmed

var den första svetsomformaren ett faktum. Den vägde ca 1 000 kg och utvecklade ca 250 Amp vid 1 450 varv/min. Det var således en stor och inte speciellt lätt flyttbar svetsmaskin. Utvecklingen gick därför vidare och snart fanns en ny typ svetsomformare. 3 000 v/m, halva vikten, men större effekt. Redan i början av 1940-talet tillverkades denna typ av svetsomformare vid ESAB's Maskinfabrik i Laxå och vid ASEA-Svets fabrik i Stockholm.

Ända fram till 1920-talet användes både i Europa och i Amerika bara likström vid bågsvetsning. Därefter började också växelström att användas vid större industrier och skeppsvarv. Det dröjde sedan inte länge förrän en övergång från roterande svetsomformare till svetstransformatorer skedde snabbt och i stor skala. Till grund för detta låg i första hand ekonomiska synpunkter. Svetstransformatorn krävde mindre energi och hade lägre inköpspris. Dessutom hade elektrodtillverkarna nu utvecklat s k högutbyteselektroder speciellt lämpade för växelströmssvetsning vid skeppsvarven.

Men intresset för likströmssvetsning fanns kvar och i slutet av 1950-talet utvecklades en statisk svetslikriktare. Den bestod i princip av en trefastransformator som på primärsidan anslöts till kraftnätet och på sekundärsidan gav en spänning som likriktades. Argumenten för den statiska likriktaren jämförd med omformaren var lägre tomgångsförluster, lägre bullernivå och avsevärt lägre underhållskostnader.

På grund av varvskrisen, som drabbade Sverige på 1970-talet avtog behovet av och intresset för stora svetstransformatorer och ersattes med en ökad användning av svetslikriktare. På detta område tog utvecklingen snabb fart genom den transistoriserade elektronikens landvinningar (fig 14).



14. Bilden visar två lika "stora" strömkällor. En svetsomformare KE 160 med en kapacitet av 160 Amp och en vikt av ca 1 000 kg, tillverkad omkring 1924 vid ESAB's tyska maskinfabrik i Finsterwalde, samt en omriktare tillverkad 1985 vid ESAB's maskinfabrik i Laxå. Den har också en kapacitet av 160 Amp, men väger bara 8 kg. Källa: ESAB.

Termitsvetsning

Termitsvetsning är en mycket speciell svetsmetod, som utvecklades och patenterades 1897 av en tysk kemist vid namn Hans Goldschmidt. Metoden kan utföras som tryck- eller smältsvetsning eller en kombination av båda.

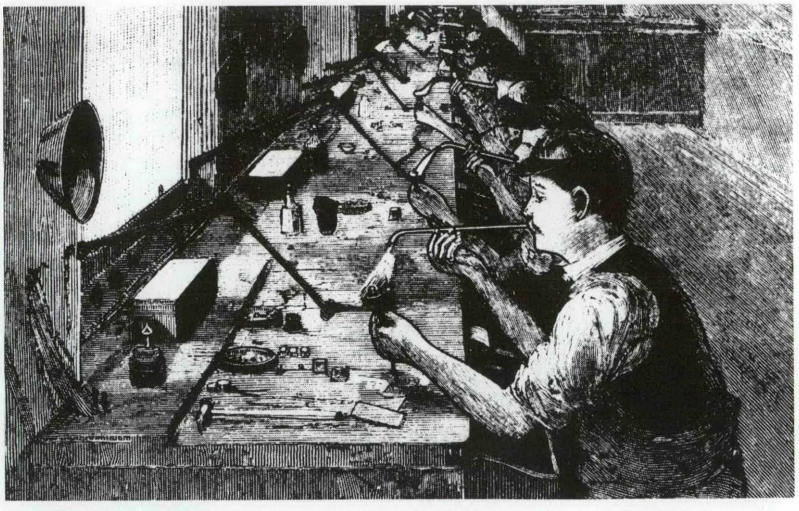
Termit är en blandning av järnoxid och aluminium, som vid antändning brinner under mycket stark lokal värmeutveckling. Järnoxiden reduceras härvid till järn, som på grund av den höga temperaturen erhålles i flytande form. Termiten hälls i en lämplig form runt delarna som skall sammanfogas.

Metoden blev mycket använd speciellt i Tyskland efter sekelskiftet, främst vid hopsvetsning av järnvägsräl och vid reparation av räl och spårväxlar. Termitsvetsningen användes så flitigt att den 1908 stod för 80% av ny sammanfogning av räl i Tyskland. I Sverige använder Banverket termitsvetsning vid hopsvetsning av räländar. För reparation och påläggning av slitna räländar och spårväxlar användes dock vanligen nyare metoder.

Utveckling av bränngaser för svetsning och skärning

Genom användningen av olika gasblandningar som belysningskälla under början av 1800-talet blev det känt att lysgas-oxygenlågan med temperatur +1 800°C och hydrogen-oxygen med +2 000°C flamtemperatur kunde användas till lödning och smältning av tunn metall. Men den enda metall, som då kunde smältas i större kvantiteter var bly (fig 15).

1892 upptäckte fransmannen Henri Moissan och amerikanen Thomas L Willson oberoende av varandra metoder för framställning av kalciumkarbid. Genom tillsats av vatten erhölls acetylen,



15. Blylödning av cykelramar hos Firma Adam Opel i Rüsselsheim 1890. Källa: Auf heissen Spuren 1986.

som gav en lysande låga med mycket hög temperatur. Acetylenet kom mycket snabbt att få en marknad som belysnings- och värmekälla och acetylenindustrier startade över hela världen.

1895 lade den franske kemisten Henri Le Chatelier fram resultat för franska vetenskapsakademin visande att de flamtemperaturer, som uppstod vid förbränning av lika mängder oxygen och acetylen var långt högre än några tidigare skapade, ca +3 100°C.

Samtidigt började metoder för produktion av billig oxygen utvecklas. Tysken Carl von Linde, engelsmannen William Hampson och amerikanen Charles Tripler lyckades samtidigt ca 1895 framställa flytande luft med en industriellt användbar metod. Baserat på att oxygenets kokpunkt är ca 13 grader högre än nitrogenets skulle man nu också kunna använda flytande luft för att fraktionera fram ren oxygen. Vid uppvärmning av flytande luft förångas först nitrogenet. Därmed ökar oxygenhalten i vätskan. Linde och fransmannen George Claude lyckades några år efter sekelskiftet framställa oxygen med över 99% renhet.

Vid gassvetsning smältes arbetsstyckets svetsfog och svetstråden genom förbränning av en bränngas tillsammans med oxygen. Med metoder för industriell produktion av acetylen och oxygen och med ny utrustning för reglering och utnyttjande av bränngaslågan utvecklades gassvetsningen åren efter sekelskiftet.

Svetsbrännare och acetylenbehållare

Uppfinningen av acetylen-oxygen-brännaren kom åren efter sekelskiftet. Från ca 1895 hade flera uppfinnare försökt finna metoder att utnyttja oxygen-acetylenlågans höga temperatur till svetsning. De första som lyckades framställa en användbar svetsbrännare var de båda franska ingenjörerna Edmond Fouché och Charles Picard. Fouché-brännaren kännetecknades av att oxygenet hade högt men acetylengasen lågt tryck, vilket ibland kunde leda till instabilitet och reglerproblem.

Vid denna tid framställdes acetylen på arbetsplatsen. Man stoppade karbidklumpar i en gasgenerator och hällde på vatten. Det så bildade acetylenet gav ofta upphov till explosionsolyckor, dålig lukt och andra miljöproblem. Detta begränsade till en början acetylensvetsningen. Nackdelarna skulle endast kunna elimineras om acetylenet kunde hanteras som andra gaser dvs tillverkas i stor skala och fyllas på stålflaskor, som fraktades till olika arbetsplatser. Men redan vid ett obetydligt övertryck blev gasen under vissa förhållanden explosiv.

Omkring sekelskiftet upptäckte fransmännen Georges Claude och Albert Hess att aceton, en genomskinlig vätska, som kunde framställas genom destillation av trä, hade egenskapen att den kunde lösa acetylengas upp till 25 ggr sin egen volym. Lösligheten steg proportionellt med trycket och vid tio bar upptogs således

250 liter acetylen av en liter aceton. Acetylengasen löst i aceton kallades dissousgas. Problemet var dock inte löst med denna upptäckt. Aceton utvidgar sig när den upptar acetylen och krymper då den avgett gasen. Därför kunde explosiv gas bildas över vätskeytan.

Problemet med att tillverka en explosionssäker stålbehållare för komprimerad acetylen löstes av Edmond Fouché genom att lagra dissousgas i ett poröst pulver av träkol blandat med cement- eller betongmassa tillsatt med kiselgur. Massan göts direkt i en behållare. Patentet för hans uppfinning ledde till bildandet av La Compagnie Francaise de l'Acetylène Dissous. Från och med nu var det möjligt att utveckla acetylengas i egna gasfabriker och distribuera den till olika kunder i gasackumulatorer. Därmed minskade behovet av gasgeneratorer på arbetsplatsen.

Snart utvecklades de första svetsbrännarna för acetylen under tryck, den s k högtrycksmetoden. Flaskgasen var emellertid dyrare än generatorgasen och slog av det skälet inte igenom direkt. Därför pågick leveranser av karbid till enskilda användare med egna generatoranläggningar till efter andra världskriget.

Gassvetsutvecklingen i Sverige

Den franska uppfinningen av stålflaskor för komprimerad acetylen väckte vid sekelskiftet stor uppmärksamhet i tekniska kretsar runt om i världen. I många länder grundades nya företag som utnyttjade uppfinningen. 1901 köpte Svenska Karbid och Acetylen AB patenträtten för Skandinavien. Utanför Stockholm byggdes en fyllningsstation för gasackumulatorer. 4 juli 1904 ombildades företaget till Aktiebolaget Gasaccumulator, sedermera kallat AGA.



16. Lysbojen Yttre Stengrund var AGAs första svetsade produkt. Teckning efter fotografi från utläggningen 1905. Källa: Nya Dagligt Allehanda 21/10 1907.

Autogensvetsning demonstrerades första gången i Sverige den 6 juni 1902 av Gustaf Dalén och Axel Gylling, verkstadschef resp verkmästare vid Svenska Karbid och Acetylen, med en utrustning som inköptes från Frankrike. Platsen var Finnboda Varv i Stockholm och utlåtandet efteråt lär ha varit att metoden var intressant men saknade praktisk betydelse. Flaskgasen hade fått dåligt rykte på grund av explosionsolyckor, vilket sannolikt färgade omdömet om den nya metoden. Den porösa massan på basis av Fouchépatentet var inte säker vid stötar och skakningar under transport.

På våren 1904 förlorade även Gustaf Dalén tron på en framtid för komprimerad acetylen och sade upp sin tjänst. Han accepterade senare att bli konsulterande ingenjör vid Gasaccumulator med uppgift att utveckla gastillämpningar. Dissousgasens första användning i Sverige var som ljuskälla för olika belysningsformer främst för fyrar och bojar. Vid tillverkning av sådan utrustning vid Gasaccumulator började svetsning användes. 1905 levererades den första AGA-bojen med svetsad bojkropp till Lotsverket (fig



17. Gustaf Dalén och verkmästare Axel Gylling demonstrerade tillsammans gassvetsning för första gången i Sverige vid Finnboda varv 1902. Bilden visar de båda med en skärbrännare 1935. Källa: AGA.

16) och påföljande år började AGA svetsa tryckkärl för gastransport.

1906 började Dalén experimentera med att ta fram en explosionssäker massa i gasackumulatorer. I augusti 1906 lyckades man med en massa som bestod av bl a granulerat träkol, asbest och kiselgur. Denna så kallade AGA-massa minskade väsentligt säkerhetsproblemen i samband med komprimerad acetylen. Den utvecklades också senare och var en strategiskt viktig faktor för AGAs internationella utbredning som tillverkare av utrustning för belysning och gassvetsning.

1905, då AGA tog upp användningen av svetsning och skärning med gas, startades i Malmö en andra fabrik för dissousgas. Den drevs av en firma G C Faxe på licens till 1918 då AB AGA-Faxius bildades med AGA som huvudintressent. 1906 började AGA även att konstruera och sälja utrustning för svetsning och skärning. Från 1908 ägnade sig även Nordiska Syrgasfabriken och Svenska Carbidkontoret åt tillverkning och försäljning av gassvets- och skärutrustning i Sverige.

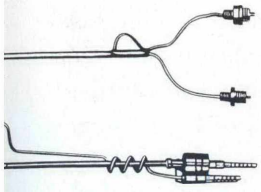


18. Gustaf Dalén anordnade detta välutrustade laboratorium vid AGAs flyttning till Maria Prästgårdsgata 1905. De små högarna på vita papper indikerar att experiment pågick med fyllningsmassa till acetylenackumulatorer. Källa: AGA.

Oxygen-skärning

Oxygenskärningen kom ungefär samtidigt som gassvetsningen och de båda metoderna kompletterade varandra funktionsmässigt. Den ena delar medan den andra sammanfogar. Men båda använder sig av acetylen-oxygen. Oxygenskärning av järn och stål baseras på en av den franske kemisten Antoine Lavoisier 1776 upptäckt egenskap att järnet vid ca +1 200°C kan antändas och förbrännas i ett oxygenflöde. Som oxygenskärningens uppfinnare räknas emellertid den engelske ingenjören Thomas Fletcher. 1887 konstruerade han en lysgas-oxygenbrännare, som användes för skärning av hål i stålplattor. Metoden fick emellertid ingen större användning i industrin förrän den tyske kemisten Ernst Menne 1901 använde en hydrogen-oxygenbrännare för att öppna tappningshålet i järn- och stålugnar. Metoden var enklare och billigare än mejsling och infördes så småningom i järn- och stålverk i de





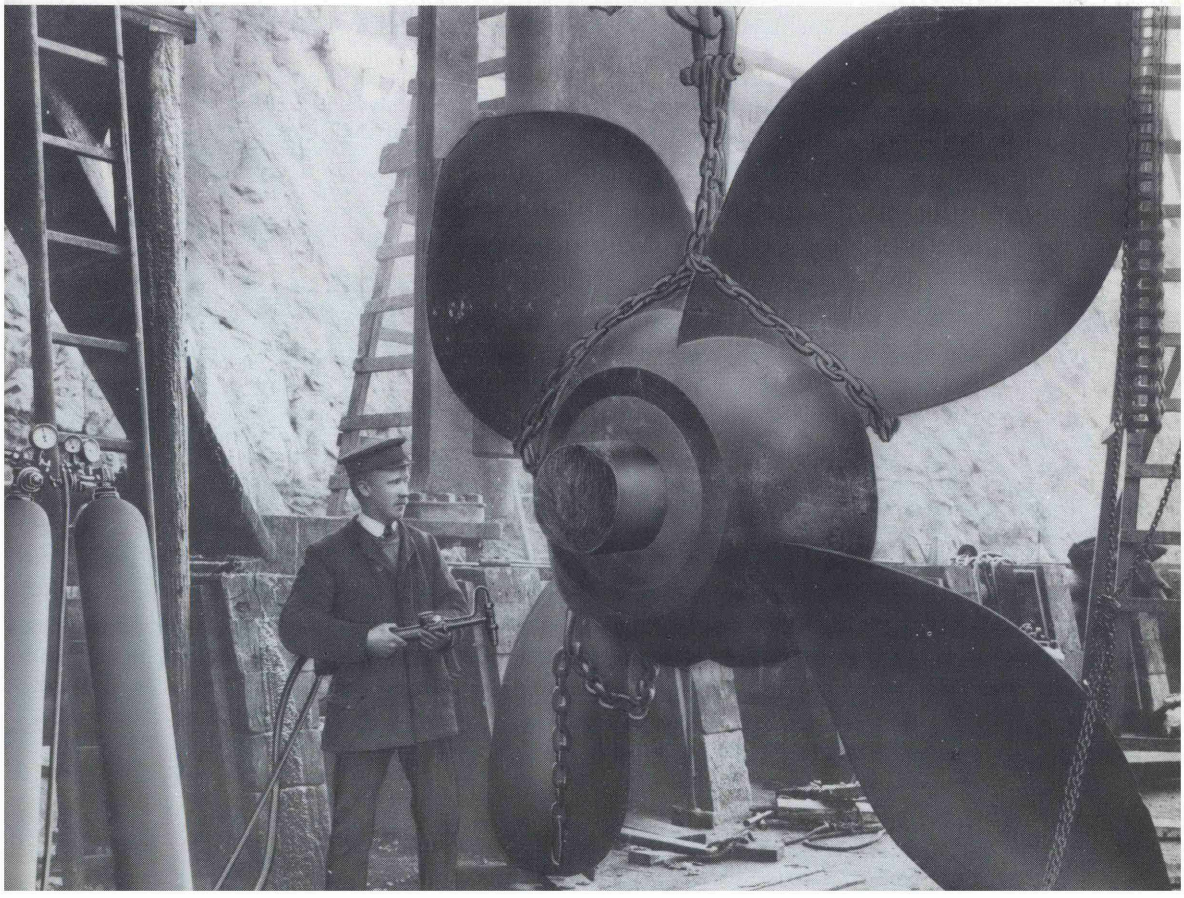
19. Charles Pickards första konstruktioner av a) svetsbrännare (1901) och b) skärbrännare (1904).

flesta länder. Metoden blev också snabbt populär hos en annan yrkesgrupp specialiserad på öppning av kassaskåp.

Den moderna skärbrännaren utvecklades samtidigt år 1904 av Charles Pickard och den belgiske ingenjören Felix Jottrand. I denna strömmar en blandning av acetylen och oxygen för förvärmning genom en särskild kanal i munstycket skilt från den som tillför oxygen för skärning. Med denna konstruktion blev det möjligt att skära regelbundna snitt med skarpa kanter och jämna snittytor (fig 19).

Skärbrännaren slog snabbt igenom där stål bearbetades. Svetsningen hade inte fått samma användning i järnindustrin om inte skärbrännaren funnits för förberedande tillskärning. Utvecklingen ledde till genomgripande ändringar av många arbetsprocesser. Maskinellt oxygenskurna delar kunde utan efterarbete svetsas i situationer där tidigare stålgjutning eller smide krävdes. Vid reparationer som tidigare tog timmar gjorde skärbrännaren arbetet på minuter. Skärbrännaren blev lika värdefull för verkstadsindustrin som svetsbrännaren och den elektriska ljusbågen (fig 20).

20. Isbrytaren "Peter den Stores" propelleraxel avskuren med AGAs skärbrännare Pyrokopt ca 1913. Källa: AGA Svetsning 1914.



Gasmetoderna slog igenom före ljusbågs-metoderna

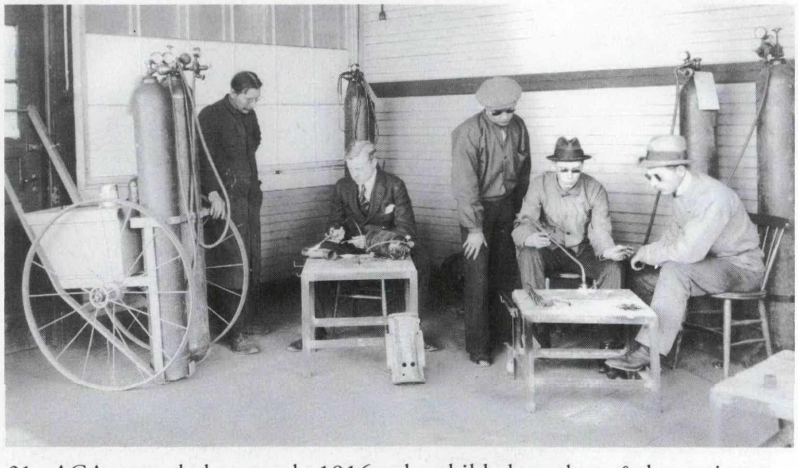
Gassvetsningen och oxygenskärningen slog igenom snabbt och kom praktiskt att användas tidigare än ljusbågssvetsningen. Orsaker till detta var att gassvetsningen tidigt visade sig användbar vid reparationer, men acetylenproducenternas målmedvetna arbete att främja gassvetsningen hade dock ännu större betydelse.

Acetylenindustrin hade växt enormt åren omkring sekelskiftet. Gasen användes främst för belysning. Men det elektriska ljuset vann snart över acetylenet, varför acetylenindustrin fick se sig om efter nya marknader. Därför representerade uppfinningarna inom svetsning och skärning nya möjligheter, som man inte var sen att utnyttja. Man var dock avhängig av billig oxygen för att dessa metoder skulle kunna konkurrera ekonomiskt. Den första oxygenfabriken i Norden byggdes i Örebro 1908 av Nordiska Syrgasverken (NSV), som 1907 köpt rätten till Lindes patent i Sverige, Norge och Danmark av Internationale Sauerstoff Gesellschaft.

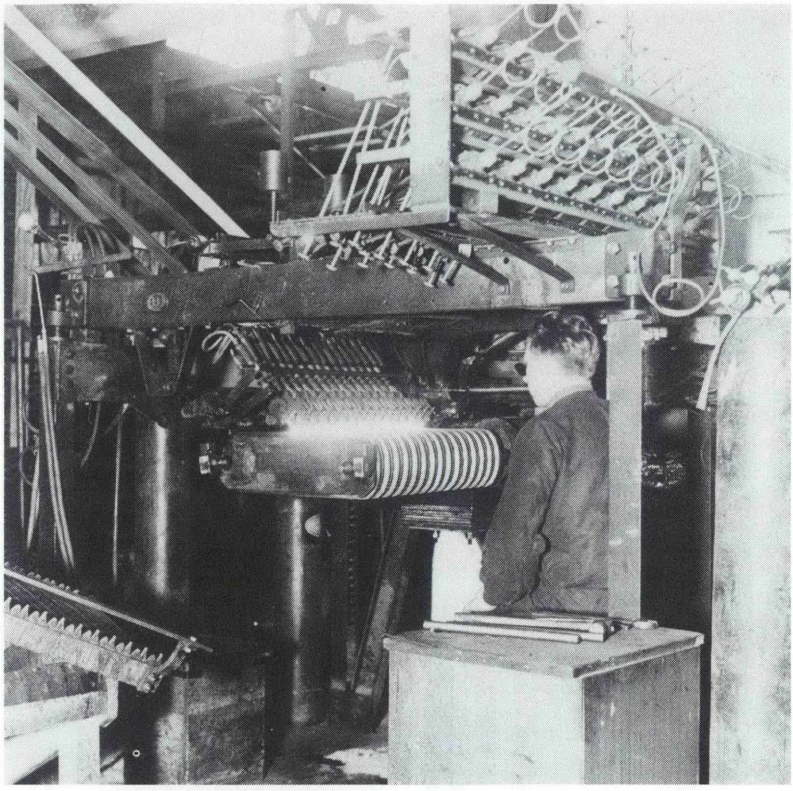
Mellankrigstiden ca 1920–1935

Svetsning och skärning blir produktions-metoder

Internationellt hade Europa varit föregångare inom gassvetsning och gasskärning beroende på att den industriella gastekniken först utvecklades där. Efter första världskriget ändrades bilden. Amerikanska soldater i Europa fann att svetsprocesser där var etablerade i industrin inte bara för reparationer utan även som produktions-



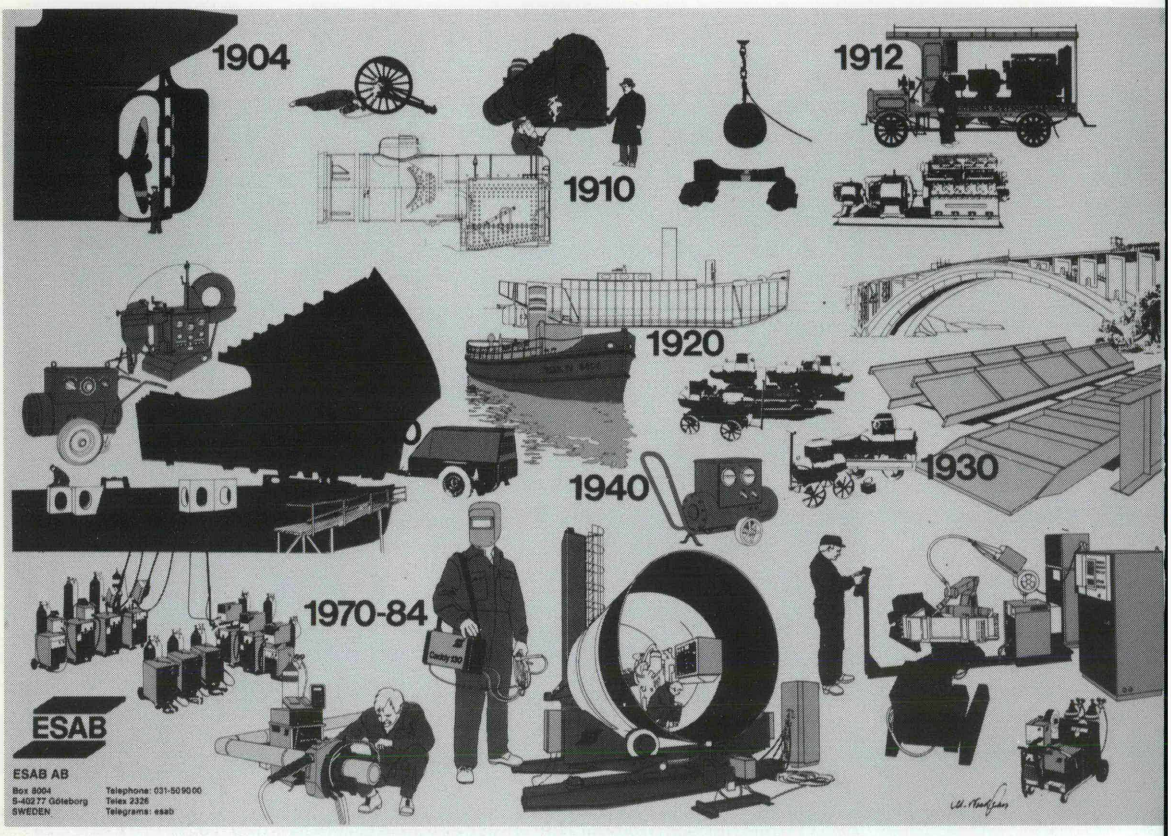
21. AGAs svetsskola startade 1916 och utbildade under två decennier ca 1 500 svetsare. De, som köpte svets- och skärapparater fick här lära sig att använda dem. Svetsundervisning påbörjades också vid Tekniska Skolan i Halmstad 1915, vid Svenska Carbidbolaget i Göteborg 1920, vid Hantverksinstitutet i Stockholm 1922 och vid ESAB i Göteborg 1932. Källa: AGA.



22. Denna omkretssvetsmaskin användes av AGA i slutet av 1920-talet för automatisk gassvetsning av plåtradiatorsektioner. 15 sektioner kunde svetsas samtidigt med denna maskin. Källa: AGA.

hjälpmedel. Gassvetsning och skärning fick därefter ett enormt uppsving i USA. Nya ljusbågssvetsprocesser utvecklades, som alltmer kom att konkurrera med gasmetoderna. De flesta av dessa kom dock i mera allmänt bruk först efter andra världskriget.

Trots att svetsningen fanns som arbetsmetod i Sverige sedan början av 1900-talet, användes den fram till 1930-talet mest i samband med reparation och underhåll. Ett fåtal svenska företag hade dock tidigt använt svetsning i produktionen t ex AGA som redan 1906 svetsade bojkroppar och tryckkärl. Efter första världskriget började tillverkare av maskiner och konstruktionselement som ASEA, ESAB och AB Bröderna Hedlund att använda bågsvetsning vid tillverkning. På grund av att svetsskarvarnas hållfasthet då ej på ett enkelt sätt kunde kontrolleras bromsades marknaden för svetsade produkter av försiktiga beställare. Under 1920-talet pågick också en stundom hård konkurrenskamp mellan företrädare



23. Översikt över ESABs nyutvecklingar 1904–84. Källa: ESAB.

för gassvetsningen och bågsvetsningen. Detta bidrog ej heller till att öka svetskundernas förtroende.

Redan 1920 då Oscar Kjellberg sjösatte ESAB IV bevisades att bågsvetsningen kunde användas till att bygga helsvetsade båtar. Trots detta fanns tio år senare endast ca 1 000 svetskunniga arbetare i Sverige varav ca 250 var bågsvetsare. Jämfört med andra länder låg svenska företag med svetsning som specialitet väl framme vid slutet av 1920-talet, men då det gällde att utnyttja svetsmetoderna rationellt i produktionen var svenskarna på väg att bli efter i utvecklingen.

Svets-kommissionen

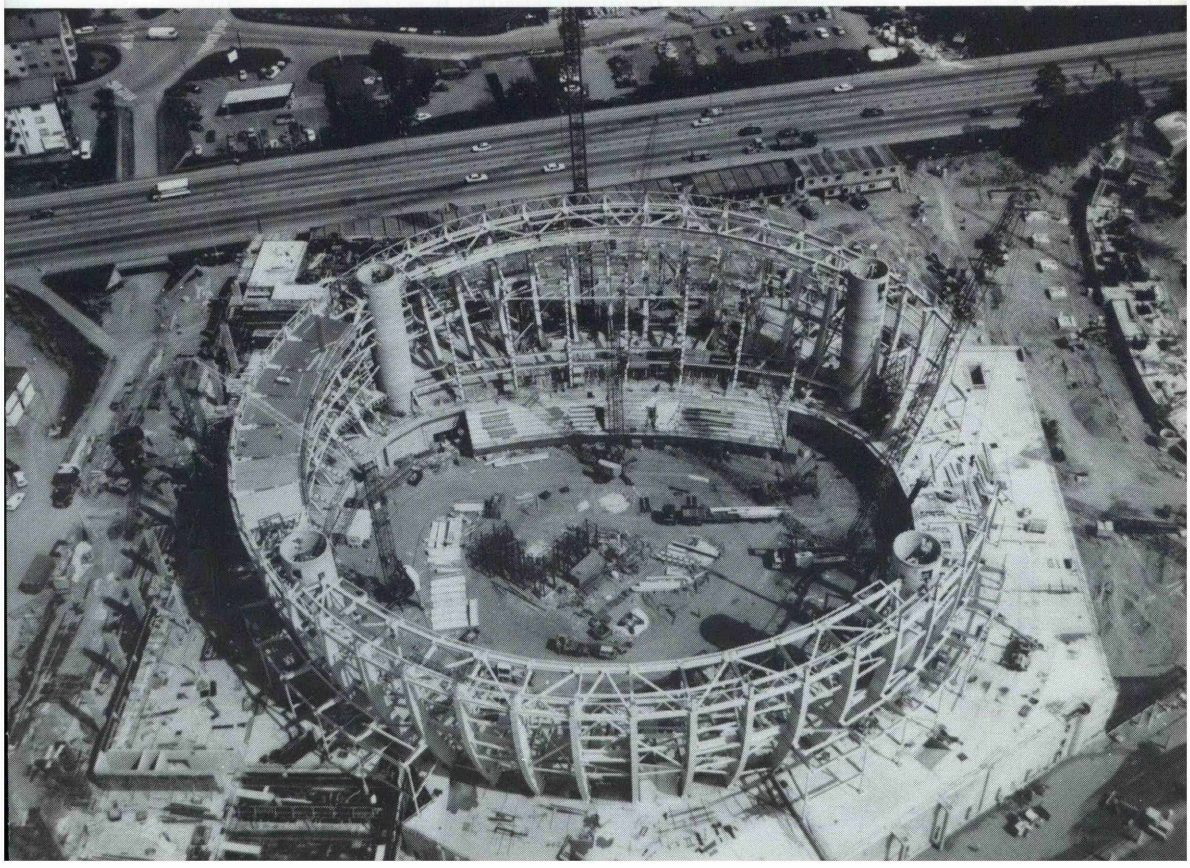
I oktober 1930 arrangerade Ingenjörsvetenskapsakademin (IVA) den första svenska svetsningskonferensen varvid diskuterades "förutsättningarna för bildandet av ett organ för studiet av tekniskvetenskapliga frågor rörande svetsning". Mötet resulterade i att Svenska Studiekommissionen för Svetsningsfrågor numera Svetskommissionen bildades den 18 november 1931 vid IVA.

Kommissionen började snart utforma riktlinjer för beräkning av svetsade konstruktioner och regler för svetsarutbildning och svetsarkompetens. Säkerhets- och kontrollfrågor togs upp och ledde till att Tekniska Röntgencentralen startades 1936. Med normer för röntgenkontroll av svetsfogar förbättrades säkerheten men det lär finnas exempel på att ansvarig myndighet ännu i början på 1940-talet rekommenderat svetsning – med tillägget "vi nitar väl också för säkerhets skull".

Man lärde sig konstruera för och tillämpa svetsning även vid brobyggen. Pålsundsbron byggd 1934 var den första landsvägsbron och Kusforsbron byggd 1942 den första järnvägsbron som helsvetsades i Sverige.

I USA hade redan före 1930-talet svetsning tillämpats på fackverkskonstruktioner för industri- och kontorsbyggnader. Denna metod kom i Sverige att användas först under de senaste årtionden. Globen i Stockholm är ett färskt exempel på svetsade stålkonstruktioner av jätteformat (fig 24).

24. Stålkonstruktion till Globen i Stockholm, världens största sfäriska byggnad med 110 m diameter. Konstruktionen bärs upp av 48 stycken 30 meter höga, helsvetsade stålpelare, som tillsammans väger ca 3 200 ton. Arbetet utfördes av Götaverken-Finnboda. Foto Götaverken-Finnboda.



Krigsåren och efterkrigstiden ca 1940–nutid

Från andra världskrigets början fick svetstekniken åter ett uppsving. Genom krigets avspärrningar stoppades många leveranser av ny maskinutrustning och reservdelar. Härigenom måste reparationer utföras på fordon och maskiner, som normalt ej skulle repareras. Rustningen medförde också att nya, ej tidigare svetsade metaller och legeringar kom till användning. Detta medförde en intensiv teknikutveckling.

Svetsning var nu etablerad produktionsteknik, men ännu ej över allt accepterad genom att oväntade brott på t ex broar och maskindelar rapporterades. Inom varvsnäringen hade svetsningen tagit över mer och mer under 1930-talet. 1941, då USA inträdde i andra världskriget användes svetsning vid massproduktion av fartyg som snabbt behövdes för att överföra krigsförnödenheter till Europa. Man började bygga fartyg i den s k Liberty-klassen på löpande band. Senare uppstod stora problem genom att många av dessa fartyg praktiskt taget sprack mitt itu. Man trodde att svetsningen bar skulden och hela svetsvärlden höll andan. Det konstaterades emellertid att sprickbildningen berodde på dålig plåtkvalitet och svetsbranschen kunde åter andas ut och inrikta sig på att vinna nya framgångar inom varvsrörelsen.



24 b. Elektrisk svetsning vid AB Hans Ostermans bilverkstad 1940. Foto Erik G:son Friberg, TM.

Elektriska bågsvetsningens metoder

De viktigaste och samtidigt mest förekommande metoderna för ljusbågssvetsning är:

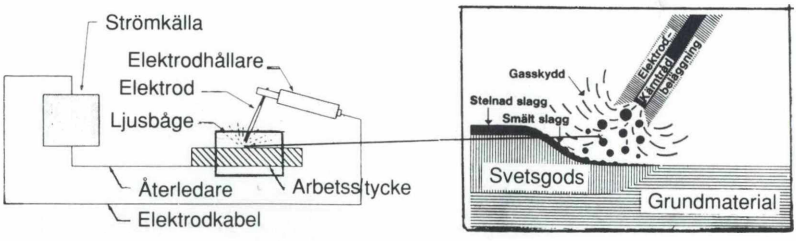
- Manuell handsvetsning med belagda elektroder.
- Svetsning i skyddsgas med solid (homogen) tråd.
- Svetsning med fluxfylld rörelektrod.
- Automatisk svetsning med solid tråd under pulver.
- TIG-svetsning med eller utan tillsatsmaterial.



Manuell handsvetsning med belagda elektroder. Metoden kallas internationellt MMA = Manual Metal Arcwelding. Den kan användas för svetsning i praktiskt taget alla typer av stål och metaller (fig 25).

Sedan svetsningens barndom och till för ca 10 år sedan har denna metod varit den i Sverige mest använda. Inom varvsrörelsen har handsvetsning med elektroder varit helt dominerande. I takt med att de svenska varven började avvecklas minskade också användningen av denna svetsmetod och förbrukningen av elektroder sjönk mycket starkt.

För att markera detta kan nämnas att de svenska varven 1974 förbrukade ca 20 000 ton tillsatsmaterial. 1992 kommer volymen levererat tillsatsmaterial till resterna av de kvarvarande varven att vara ca 3–400 ton dvs ca 2% av förbrukningen 1974. Enbart i Göteborgs- och Uddevallaområdet fanns 1974 ca 25 000 varvsar-



25. Principbeskrivning, manuell elektrisk bågsvetsning: "För svetsning kräves en svetsströmkälla och en elektrodhållare, som är ansluten med en elektrisk kabel till strömkällans ena pol. Arbetsobjektet, på vilket svetsning skall utföras är anslutet till strömkällans andra pol. Svetsaren sätter en elektrod i hållaren. När elektrodspetsen förs mot arbetsobjektet uppstår en ljusbåge. Arbetsstyckets kanter smälter, samtidigt som även elektrodspetsen smälter och droppar ned i smältbadet. Genom att sakta föra elektrodspetsen utefter arbetsobjektets kanter smälter dessa ihop med det smälta materialet från elektroden och en homogen materialbindning erhålles. Under processen skyddas smältbadet från oxidation av ett gasskydd från elektrodhöljet. Höljets kemiska sammansättning varierar beroende på vilket material som skall svetsas. Vid en viss metallegering användes en elektrod med motsvarande legeringsämnen i höljet."

betare, som mer eller mindre arbetade med svetsning. I dag finns i samma område högst 250 st. Detta belyser dramatiskt en mycket viktig epok i den svenska svetsningen historia.

Svetsning i skyddsgas med solid tråd (gasmetallbågsvetsning). En av svetsteknikens viktigaste innovationer efter den belagda elektroden var utvecklingen av bågsvetsning i skyddsgas. Redan på 1920-talet gjordes svetsförsök i ädelgasatmosfär. Två amerikanska tekniker, Henry Hobart och Paul Devers vid General Electric, försökte med helium resp argon men utan någon kommersiell framgång. General Electric vidareutvecklade och patenterade metoden 1930 men rönte samma öde. Den uteblivna framgången berodde främst på att såväl helium som argon var för dyra att producera med dåtida teknik.

Först i mitten av 1940-talet hade tekniken med en smältande elektrod i skyddsgas utvecklats så att den blev industriellt användbar. Argon användes som skyddsgas, men snart upptäcktes att den betydligt billigare CO_2 också var ett möjligt alternativ.

Tillsatsmaterial i form av en trådelektrod matades automatiskt fram från en trådbobin till en svetspistol, som svetsaren höll i handen. Kombinationen automatisk trådmatning och manuell framföring av svetspistolen gjorde att metoden kallades "halvautomatisk".

Den internationella benämningen på den nya metoden blev: GMAW = Gas Metal Arc Welding. Beroende på vilken skyddsgas som användes fick metoden två olika namn: MIG då argon användes och MAG för CO_2.

MIG = Metal Inert Gas, med vilket menas att skyddsgasen argon, som är en ädelgas, inte deltar aktivt i smältprocessen utan endast utgör ett skydd mot oxidation.

MAG = Metal Active Gas, vilket innebär att CO_2-gasen inte enbart har en skyddande uppgift, utan även deltar aktivt i smältprocessen (fig 29).

MAG-metoden. I början av 1950-talet fick två ingenjörer från Svenska Järnvägsverkstäderna (ASJ) i Linköping på studiebesök i USA se en för dem helt ny typ av halvautomatisk svetsning med solid tråd och med CO_2 som gasskydd. Metoden hade utvecklats vid bl a Battelle Memorial Institute.

De köpte in en maskin till Linköping samt skaffade CO_2-gas från stadens bryggeri. Därmed var MAG-svetsningen introducerad i den svenska industrin. Kort tid därefter började ASEA-Svets sälja tysktillverkade MAG-utrustningar och svenska gasfabriker började producera lämplig CO_2. Redan i början av 1960-talet tillverkade ESAB vid fabriken i Laxå den första svenska halvautomaten. Metoden har vidareutvecklats under åren.

Skyddsgasen har delvis förändrats. Förutom ren CO_2-gas användes i mycket stor omfattning en blandgas bestående av 80 % argon och 20 % CO_2. Under senare tid har AGA m fl introducerat även andra typer av två- och flerkomponentgaser på marknaden.

Vid svetsning i stål är svetstråden förkopprad järntråd med speciell legering. Sådan svetstråd har sedan lång tid producerats i Sverige, främst vid Grytgöls Bruk i Östergötland. Rostfri svetstråd produceras vid Sandvik AB och Avesta AB.

Fram till 1985 var svetsning med handsvetselektroder den mest vanliga svetsmetoden i Sverige. Den passerades då av de båda MIG/MAG-metoderna.

MIG-metoden. Utvecklingen av halvautomater för MIG-svetsning med argon som skyddsgas skedde vid Battelle-institutet och vid Airco i USA parallellt med MAG-utvecklingen. De båda metodernas användningsområden var emellertid helt olika. MIG-svetsningen var från början avsedd för svetsning i legerade material, som t ex rostfritt och vissa ickejärn-metaller. Tillsatstråden skulle vara av samma materialtyp och skyddsgasen en inaktiv (inert) gas, som argon.

Under de senaste åren har emellertid ren argon, som skyddsgas vid MIG-svetsning, mer och mer ersatts av blandgaser med två eller flera komponenter, men med argon som starkt dominerande part. Metoden byter då namn till MAG-svetsning även om svetsningen sker i t ex rostfritt material.

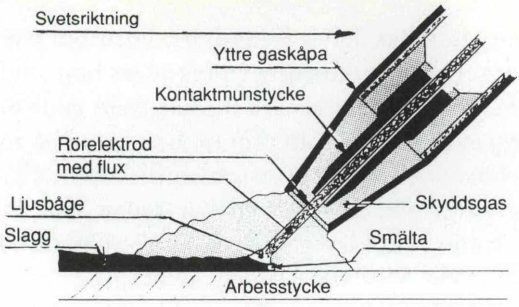
Sverige har haft och har fortfarande en betydande stålindustri, som i många avseenden är världsledande, speciellt vad gäller utveckling och framställning av högt kvalificerade stålsorter. Det har medfört att många konstruktioner av stål nu kan göras med betydligt klenare dimensioner än tidigare. MIG- och MAG-metoderna har normalt vissa begränsningar vid svetsning i grovt material, men som en konsekvens av de nyutvecklade stålen har MIG/MAG-metodernas användningsområde ökats.

Till detta kan noteras en i Sverige liksom i övriga världen ökad användning av rostfritt och liknande legerat material, vilket också har positivt påverkat MIG/MAG-svetsningen.

En annan anledning till MIG/MAG-metodernas ökning är att båda dessa är relativt lätta att anpassa till helautomatisk svetsning genom mekanisering med t ex robot.

Svetsning med fluxfylld rörelektrod. Metodens internationella benämning är FCW, vilket kommer av Flux Cored Wire.

Även om svetsning med solid tråd i skyddsgas fick en mycket stor spridning i svetsvärlden upptäcktes dock ganska snart att metoden hade två viktiga brister:



26. Svetsning med rörelektrod i skyddsgas, princip.

1. Med hänsyn till den skyddande gasen var det svårt att svetsa utomhus.
2. Metoden var svår att använda vid svetsning i grövre gods.

I USA utvecklades därför en rörformig trådelektrod, fylld med ett fluxmedel (fig 26). Detta hade liknande egenskaper som pulverhöljet på en elektrod, i det att medlet vid svetsning utvecklade en gas som skyddade svetsstället. Metoden blev internationellt bekant, då den i stor omfattning användes vid arbetet med den kända stora gasledningen från Alaska genom Kanada till USA.

Vid svetsning med FCW-metoden utvecklades en mycket stor rökmängd, vilket gjorde den svår att använda inomhus. Detta problem kunde minskas avsevärt, om CO_2 användes som skyddsgas.

I Sverige har svetsning med rörelektrod blivit den metod, som under de senaste åren ökat mest i användning men numera i kombination med argon/CO_2 som extra skyddsgas.

Automatisk svetsning med solid tråd under pulver. Internationell benämning SAW = Submerged Arc Welding. I Sverige är metoden mest känd under namnet UP-svetsning, efter tyskans Unter Pulver.

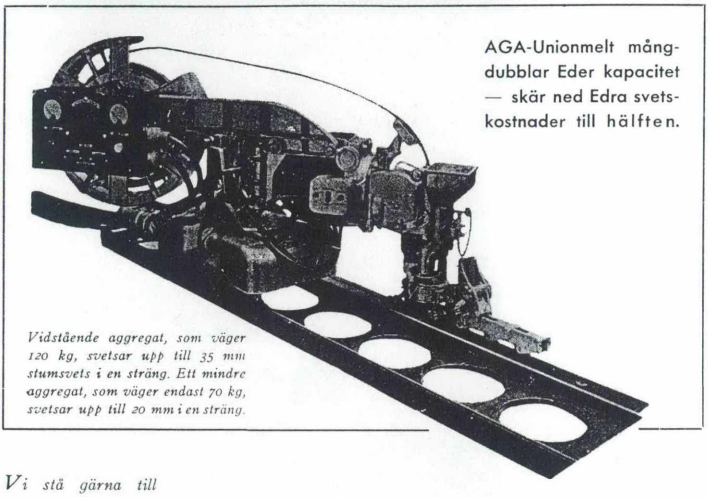
I början av 1930-talet konstruerades vid ESAB:s tyska fabrik i Finsterwalde den första typen av svetsautomat. Den arbetade med vanliga svetselektroder, som från ett elektrodmagasin automatiskt matades ned för svetsning.

Parallellt med denna utveckling kom i USA en svetsautomat, som arbetade med kontinuerlig svetstråd och pulver. Idén till metoden gavs av amerikanen Harry E Kennedy redan på 1920-talet. Metoden övertogs av och vidareutvecklades vid University of California i Berkeley. Uppfinningen köptes i början av 1930-talet av Linde Air Products Co och 1935 introducerades processen på den amerikanska marknaden under namnet "Union-Melt". 1939 köpte AGA patenträtten för Skandinavien och Baltikum och sålde flera exemplar till bl a de svenska varven (fig 27).

Med utvecklingen av den automatiska svetsningen, inleddes ett mycket betydelsefullt kapitel i den svetstekniska historien. Svets-

AGA-Unionmelt

- en ny ekonomisk svetsmetod



AGA-Unionmelt mångdubblar Eder kapacitet — skär ned Edra svetskostnader till hälften.

Vidstående aggregat, som väger 120 kg, svetsar upp till 35 mm stumsvets i en sträng. Ett mindre aggregat, som väger endast 70 kg, svetsar upp till 20 mm i en sträng.

Vi stå gärna till tjänst med informationer i alla frågor som röra svetsning.

Det är tungt vägande skäl, som föranlett oss taga upp den nya elektriska AGA-Unionmelt-metoden. Vad betyda t. ex. följande möjligheter, jämförda med vanlig bågsvetsning, för E d e r verkstad?

- **Svetshastigheten** blir 10—20 gånger större.
- **Elektrodförbrukningen reduceras mer än 50 proc.**
- **Energiförbrukningen minskas till hälften.**
- **Totala svetskostnaden pr m svets reduceras 50 proc.**

För alla verkstäder med större svetsarbeten betyder AGA-Unionmelt-metoden förstärkt beredskap. Begär upplysningar och offert.



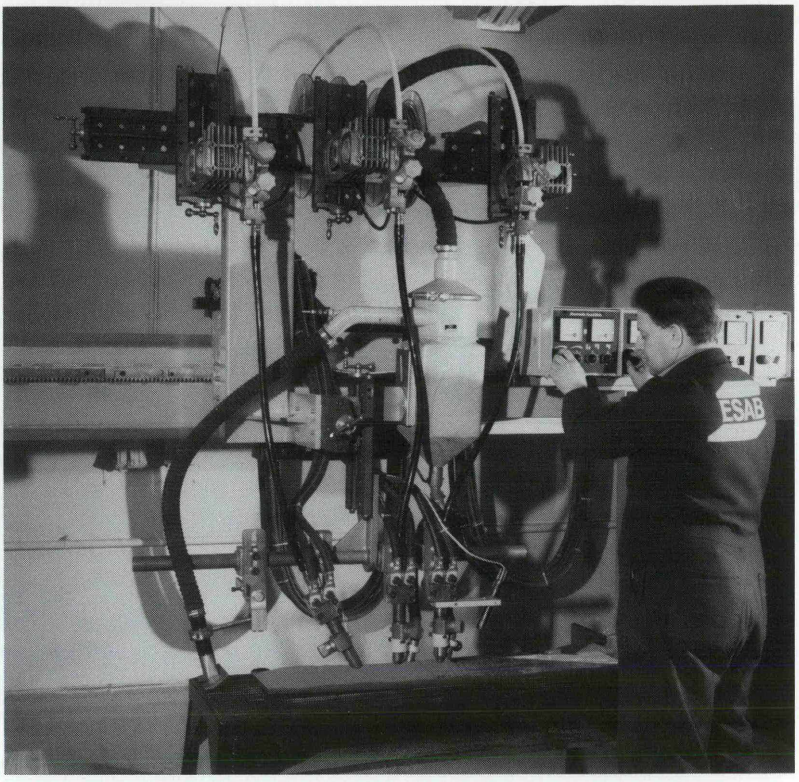
GASACCUMULATOR

SVETSAVDELNINGEN Aktiebolaget STOCKHOLM - LIDINGÖ

27. AGAs första annons för svetsautomaten AGA-Unionmelt. Källa: Svetsen, nr 6, nov 1943.

automaten fick helt avgörande betydelse vid all skeppsbyggnad i hela världen. I början av 1970-talet var svensk varvsindustri en av de världsledande tillverkarna av stora oljetankers. Plåttjockleken i skrovet kunde vara upp till 40 mm och automatsvetsning var då den mest användbara svetsmetoden.

I Sverige avtog behovet av svetsautomater då varven avvecklades, men metoden är fortfarande den mest ekonomiska vid svetsning av tjocka plana plåtar. UP-metoden är också den mest mil-



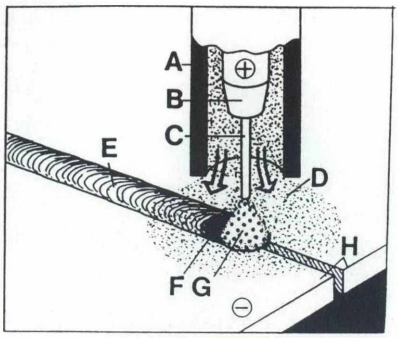
28. Ett av ESAB i Laxå utvecklat komponentsystem för tillverkning av svetsautomater har gjort det möjligt för kunden att själv komponera den svetsautomattyp, som bäst passar hans egna behov. Källa: ESAB.

jövänliga av alla elektriska bågsvetsmetoder eftersom den, tack vare det skyddande pulvret, inte ryker.

TIG-svetsning. Den internationella benämningen TIG = Tungsten Inert Gas.

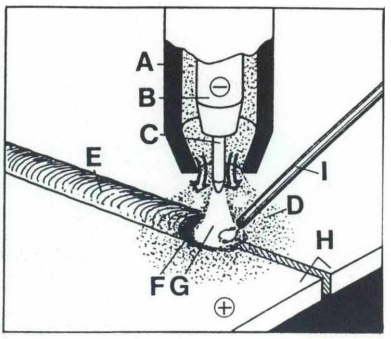
Under andra världskriget växte behovet av att kunna svetsa lättmetaller, som aluminium och magnesium, speciellt inom flygindustrin. 1940 fick amerikanen Russel Meredith vid Northrop Aircraft i uppdrag att utveckla en metod för svetsning av magnesium. Han byggde vidare på en metod, som General Electric redan 1930 arbetat med, och gjorde 1941 försök med magnesiumtråd och ädelgasen helium.

Detta fungerade, men att använda ett elektrodmaterial med så låg smältpunkt hade vissa nackdelar. Meredith valde istället en volframelektrod, som inte smälte och 1942 patenterade han metoden, som fick namnet "Heliarc"-svetsning. Linde Div vid det amerikanska Union Carbide fick licens att vidareutveckla och sälja



29. Bågsvetsning i skyddsgas (MIG), princip. Tråden, som matas fram i centrum av svetspistolens munstycke, omges av den samtidigt framströmmande skyddsgasen. Från strömkälla och gasbehållare ledes tråden i en trådledare och gasen i en gasslang fram till svetspistolen i en gemensam skyddsslang.

A Yttre skyddskåpa
B Munstycke
C Svetstråd
D Skyddsgas
E Färdig svets
F Smälta
G Ljusbåge
H Grundmaterial



30. TIG-svetsning, princip. TIG kan användas med eller utan tillsatsmaterial. Vid svetsning utan tillsatsmaterial ligger de båda materialkanterna tätt intill varandra och smältes ihop. Vid svetsning med tillsatsmaterial tillföres materialet från sidan, enligt bilden.

A Gaskåpa
B Elektrodhållare
C Ej smältande volframelektrod
D Skyddsgas
E Färdig svets
F Smälta
G Ljusbåge
H Grundmaterial
I Svetstråd

processen. Först användes helium, men efter kriget ersattes detta med argon, som var billigare och lättare att producera och metoden bytte då namn till TIG-svetsning (fig 30). TIG-metoden är i dag en av de mest använda vid svetsning av koppar och kopparlegeringar, nickel och nickellegeringar, titan och olika rostfria, syrafasta och värmetåliga stållegeringar.

I Sverige introducerades TIG-svetsning redan i mitten av 1940-talet av AGA och ASEA-Svets. AGA tog hem svetsbrännarna från USA och ASEA-Svets strömkällorna från Tyskland, varefter utrustningen marknadsfördes av ASEA-Svets. I dag finns sedan många år tillbaka svensktillverkade utrustningar från bl a ESAB i Laxå.

Bågsvetsmetodernas användning i Sverige

Med undantag av TIG-metoden, som under de senaste åren haft en förhållandevis jämn användning, har det inbördes förhållandet mellan de övriga metoderna varierat starkt.

Från början var svetselektroden, MMA, helt dominerande. Denna dominans fortsatte under varvens storhetstid, då metoden var nästan dubbelt så stor som de övriga metoderna tillsammans.

Följande tablå visar procentuell förbrukning av tillsatsmaterial i Sverige fördelat på olika svetsmetoder. Den illustrerar de inbördes förändringarna mellan olika svetsmetoders användning i Sverige 1974, då varvsindustrin var som starkast, och 1990:

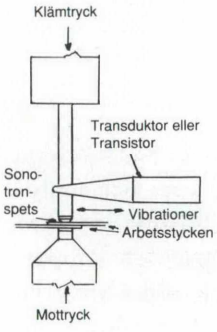
Metod	Andel i % av total vikt tillsatsmaterial	
	1974	1990
MMA	65 %	36 %
GMAW	18 %	46 %
FCW	1 %	11 %
SAW (UP)	16 %	7 %
	100 %	100 %

TIG-metoden är inte med i denna sammanställning, eftersom den i endast ca 50 % svetsas med tillsatsmaterial. Volymen tillsatsmaterial är i detta sammanhang utan betydelse.

Nyare, speciella trycksvetsmetoder

Utöver de tidigare beskrivna konventionella typerna av motståndssvetsning finns några speciella metoder, som visserligen arbetar efter delvis andra principer, men som ändå måste hänföras till gruppen trycksvetsning.

Det är: ultraljudssvetsning
explosionssvetsning
friktionssvetsning
och bultsvetsning, kombination av smält- och trycksvetsning.



31. Ultraljudssvetsning, princip. De delar, som skall svetsas trycks mellan ett fast stöd och en s k sonotrod, som kan överföra ultraljud med frekvenser upp till ca 100 kHz. Genom de vibrationer, som uppstår, bringas delarna i så intim kontakt med varandra att de förenas av atomära krafter.

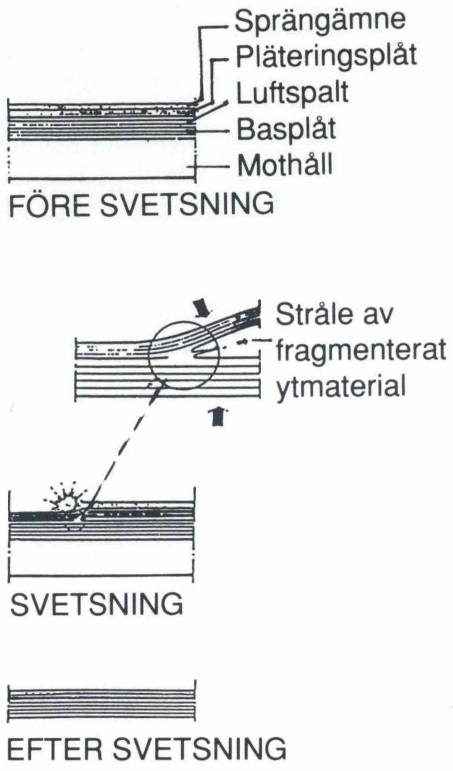
Samtliga dessa metoder användes i Sverige, men dock, i förhållande till de konventionella motståndssvetsmetoderna, i mera blygsam omfattning.

Ultraljudssvetsning. Metoden uppfanns inom elektronikindustrin i mitten av 1940-talet. Den är avsedd för svetsning av mycket små detaljer. Övre gräns för detaljens materialtjocklek är ca 2,5 mm, medan begränsningen nedåt ligger på ca 0,01 mm diam för tråd och ca 0,004 mm för folie. Ultraljudssvetsning användes för svetsning av mikrokretsar och halvledarkomponenter, för tillverkning av kretskort och för hopsvetsning av kabel.

Ultraljudssvetsning är en form av kallsvetsning, där metalldelarnas ytor deformeras plastiskt under tryck och vibration (fig 31).

Explosionssvetsning. Vid explosionssvetsning sker sammansvetsningen av arbetsstycken med hjälp av en kontrollerad detonation (fig 32). Detta användes i mitten av 1950-talet vid amerikanska National Northern Corp och vidareutvecklades senare av Du Pont. Från början var metoden avsedd för framställning av kompoundplåt. Den kan emellertid användas för hopsvetsning av praktiskt taget alla vanliga material. Aluminium mot stål eller kopparlegeringar mot titan osv.

På senare tid har explosionssvetsade detaljer fått användning vid



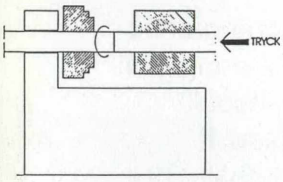
32. Explosionssvetsning, princip. De delar, som skall hopsvetsas, placeras parallellt med en luftspalt emellan. På den övre plåten läggs en gummibuffert för att skydda ytan och ovanpå denna placeras sprängämnet och en detonator.

När sprängämnet detonerar kastas den övre plåten med våldsam kraft mot den undre. Vid sprängningen bildas en jetstråle, som fragmenterar metallytorna, varvid deras oxidskikt kastas framåt så att en mycket stark och helt metallisk atomär bindning erhålles vid plåtarnas kontaktytor. Källa: Svetsen nr 4 1987.

tillverkning av vissa typer av båtar med stålskrov och aluminiumöverbyggnad. Man använder då explosionssvetsade övergångsstycken med kombinationen stål-aluminium, varvid ståldelen svetsas till skrovet och den andra delen till överbyggnaden. Tekniken har utvecklats så att även rör kan explosionssvetsas. Så har t ex en sträcka av den kända Trans Canadian Pipeline i Kanada svetsats med denna metod.

Nitro Metall, ett dotterbolag till Nobel-Kemi, förvärvade i mitten av 1960-talet rätten att använda metoden i Sverige. Bolaget, som numera har annan ägare, har sin verksamhet i Likenäs i Värmland. Svårigheten med metoden är att den, då den användes i större skala, måste utföras på speciella skyddade skjutplatser. Utanför Likenäs finns nu Europas största sprängplats för explosionssvetsning.

Friktionssvetsning. Även om idén fanns redan vid sekelskiftet, utvecklades metoden först i mitten av 1950-talet. Den ryske maskinisten A I Chudikov patenterade en friktionssvetsningsmetod 1956. Den användes i huvudsak vid hopsvetsning av axlar och liknande cylindriska objekt, såsom handtag och andra detaljer till verktyg.



33. Friktionssvetsning, princip.

Vanligtvis har maskiner för friktionssvetsning två inspänningschuckar med gemensam centrumlinje. De detaljer, som skall svetsas, inspännes i chuckarna med ändarna mot varandra, så som fig 33 visar. Den ena chucken arbetar axialt och trycker sitt arbetsstycke mot det andra, som sitter i en roterande chuck.

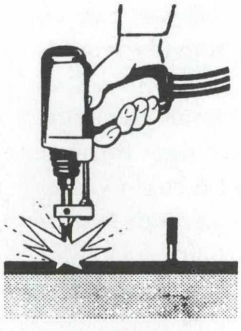
Genom den friktion, som uppstår då detaljändarna under tryck gnids mot varandra, erhålles snabbt en hög friktionsvärme. När svetstemperatur uppnåtts, stoppas rotationen automatiskt, medan trycket bibehålles eller eventuellt ökas, tills de båda ändarna är sammansvetsade.

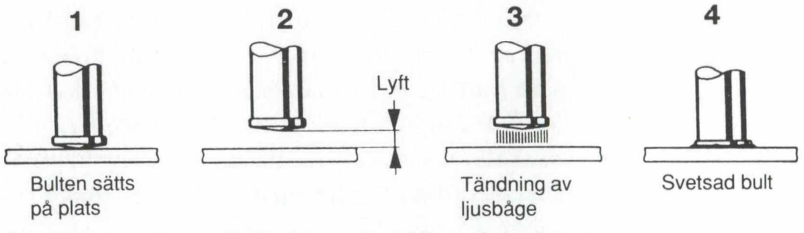
Bultsvetsning. De första försöken med bultsvetsningsapparatur utfördes i England under första världskriget av Harold Martin, svetsspecialist vid engelska flottan i Portsmouth. Utvecklingsarbetet låg därefter i stort sett nere under mellankrigstiden för att åter upptas inom engelsk skeppsbyggnadsindustri vid andra världskrigets utbrott. Fördelen är att kunna fästa bultar och stift utan att först borra ett hål, som kan leda till läckage (fig 34).

1938 kom den amerikanske ingenjören Ted Nelson på idén att med hjälp av bultsvetsning svetsa fast gängad bult på fartygsdäcket och på så sätt fästa däcksplankorna. Metoden fick så stor efterfrågan att Nelson bildade ett bolag för att exploatera idén. Detta bolag "TRW Nelson Studwelding", som också började tillverka maskinell utrustning, är fortfarande världsledande för metoden.

Metoden introducerades i Sverige av AB Olof Lakander i Göteborg. 1946 levererades den första utrustningen till Götaverken, där den skulle användas vid läggning av däcksplank på M/S Stockholm, som då var under byggnad (fig 35).

I Sverige användes bultsvetsning i mycket stor omfattning av bl a maskin- och apparattillverkare, byggnadsindustri och bilindustri.





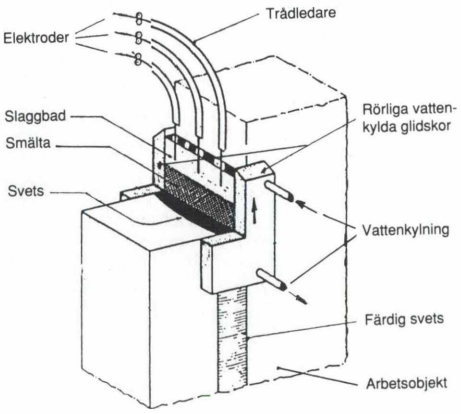
34. Bultsvetsning, princip. I ett pistolliknande verktyg kopplat till en strömkälla sätts bulten in, varefter bultspetsen tryckes mot arbetsobjektet. Då pistolen avfyras lyfts bulten automatiskt några mm från arbetsobjektet varvid en ljusbåge uppstår. Efter någon sekund har såväl bultände, som arbetsobjektet uppvärmts och bulten skjutes med en fjäderanordning ned i smältbadet. Förbindningen blir minst lika stark som materialet i bult och arbetsstycke.



35. Bultsvetsning vid läggning av däck på M/S Stockholm. Bilden visar hur verktyget appliceras mot däcket då svetsningen utföres. Till vänster däcksplank mot borrade hål, som passar till de fastsvetsade bultarna. Foto O Lakander.

Andra speciella svets- och skärmetoder

Elektroslagg – elektrogas. Redan före första världskriget försökte man på olika håll hitta metoder att sammanfoga vertikalt ställda, förhållandevis grova arbetsobjekt men utan praktiska resultat. E J Hopkins patenterade 1938 en metod, som ej heller kom till an-



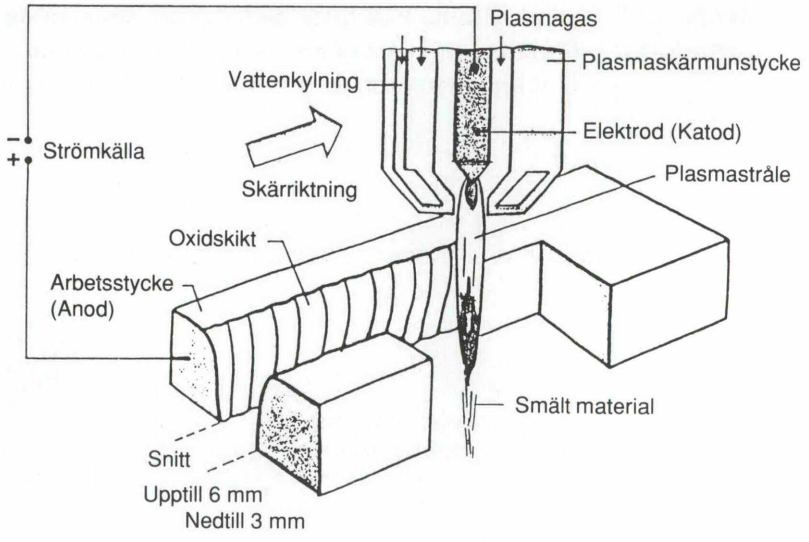
36. Elektroslaggsvetsning, princip. Svetsning sker mellan två vattenkylda glidskor, som kontinuerligt föres uppåt i svetsfogen. Trådelektrod och pulver tillföres.

vändning. Det var det ryska Paton-institutet i Kiev, som först i början av 1950-talet utvecklade den första industriellt användbara elektroslaggsvetsningsmetoden (fig 36). Denna kom till Västeuropa först vid världsutställningen i Bryssel 1958. Den användes då vid tillverkning av den atomgitterliknande, 110 meter höga stålkonstruktionen "Atomium", som blev hela utställningens symbol.

Elektrogassvetsning, som presenterades 1957 är en vidareutveckling av elektroslaggsvetsningen. Vid elektrogassvetsning användes skyddsgas istället för pulver och ibland rörelektrod istället för trådelektrod.

Plasmasvetsning och plasmaskärning. Plasmatillstånd uppnås genom att en gas upphettas så kraftigt att den joniseras och blir elektriskt ledande. 1909 lyckades den tyske forskaren Otto Schönherr vid BASF omvandla gas till ett plasmatillstånd då han experimenterade med gaser i olika tillstånd. Någon större praktisk betydelse fick inte hans upptäckter, men de låg sannolikt till grund för en vidareutveckling, som gjordes av två amerikanska tekniker Gerdien och Lotz 1921. De framställde en ljusbåge med hjälp av en kolelektrod och ett plasma, som strömmade fram genom ett munstycke. Kolelektroden förbrukades dock mycket snabbt och inte heller i denna utvecklingsfas skapades någon praktisk tillämpning.

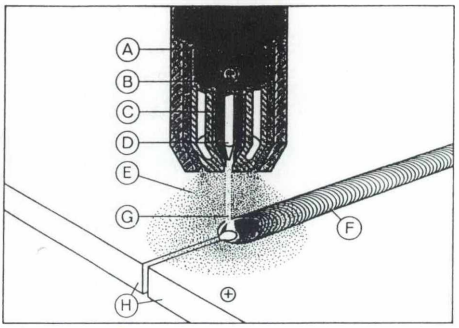
På 1950-talet drevs plasmautveckling inom flyg-, raket- och atomindustrin. 1953 patenterade Robert Gage en plasmasvetsmetod där han använde sig av en volframelektrod. 1955 gjorde han den första industriellt användbara plasmaskärbrännaren och 1957



37. Plasmaskärning, princip.

38. Plasmasvetsning, princip. Källa: Avesta.

A Gaskåpa
B Vattenkyld brännare
C Plasmagas
D Volframelektrod
E Skyddsgas
F Färdig svets
G Plasmastråle
H Grundmaterial



den första utrustningen för plasmasvetsning. Som plasmagas användes vanligen argon eller en blandning av argon och hydrogen. Även CO_2 kan användas och vid vissa manuella tillämpningar även luftplasma.

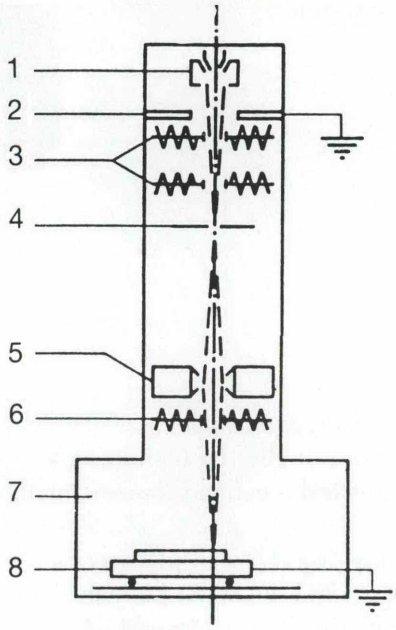
Plasmaskärning (fig 37) och plasmasvetsning (fig 38) introducerades i Sverige 1962 av AGA, då man sålde den första plasmaskärutrustningen till Avesta Järnverk. Något år därefter började AGA tillverka utrustning för plasmasvetsning. I dag tillverkar ESAB maskiner och utrustning för såväl skärning som svetsning med plasma.

Elektronstrålesvetsning. 1905 lyckades M V Pirani framställa en elektronstråle med vilken han kunde smälta metall. Nästa kända fas i utvecklingen kom 1930 då tysken Manfred von Ardenne borrade hål med elektronstråle. Först 1949 lyckades den tyske forskaren K H Steigerwald vid Zeiss åstadkomma metodens första industriella tillämpning.

Kärnkraftsindustrin, i detta fall Franska Atomkommissionen och flyg- och rymdindustrin, behövde en metod med vilken man med mycket stor precision kunde svetsa små detaljer av olika material som aluminium, titan, magnesium, koppar och stållegeringar m m. J A Stohr vid kommissionens laboratorium i Saclay rapporterade 1957 att han lyckats tillgodose dessa behov med en nyutvecklad elektronstråleteknik.

Under de första åren var metoden begränsad till svetsning enbart i vakuumkammare (fig 39). I slutet av 1960-talet konstruerades en utrustning, där svetsning kunde utföras med elektronstrålen isolerad i vakuum i svetspistolen men med svetsobjektet i vanlig skyddsgasmiljö, argon eller helium.

Lasersvetsning och laserskärning. Svetsning med laser liksom elektronstråle är baserad på uppvärmning genom höga strålningseffekter. Vid lasersvetsning träffas arbetsstycket av en ström av foto-



1. Katod
2. Anod
3. Magnetisk justering
4. Bländare
5. Magnetisk lins
6. Magnetisk styrning
7. Vakuumkammare
8. Arbetsstycke

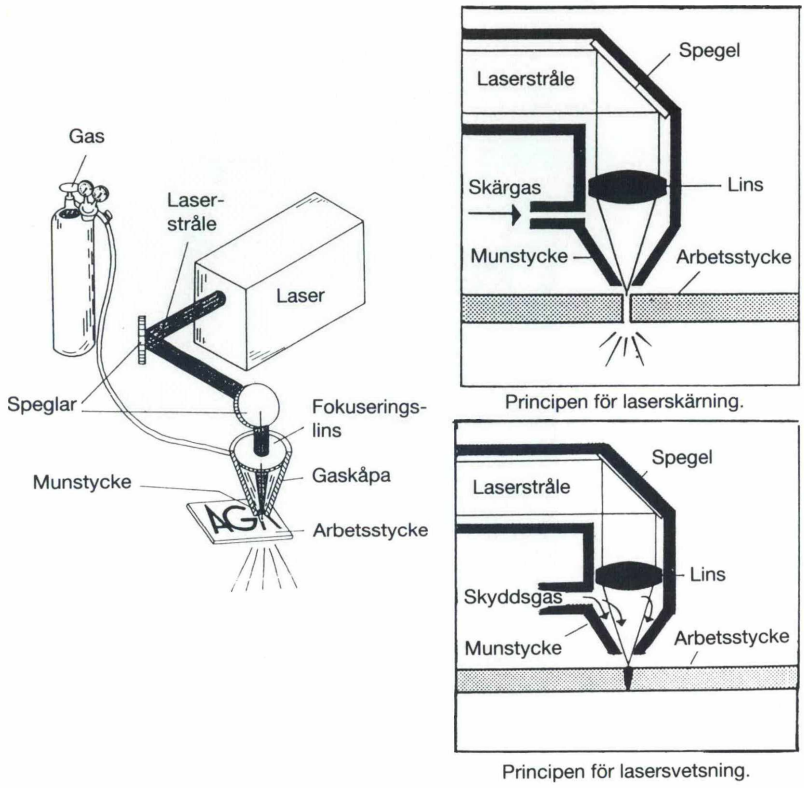
39. Elektronstrålesvetsning, princip. Värme alstras genom att grundmaterialet bombarderas med elektroner från en volframglödtråd. Elektronerna accelereras och deras rörelseenergi omsätts till värme då elektronstrålen träffar arbetsobjektets yta. En smältzon mellan objektets fogytor erhålles. Svetsdetaljerna placeras normalt i en vacuumbehållare under en svetspistol. Hela svetsförloppet sker automatiskt i vacuum.

ner (strålningskvanta). Då fotonerna koncentreras på en mycket liten punkt kan en så stor effekt överföras att kanterna på arbetsobjektet smälter (fig 40).

Den första lasern för metallbearbetning utvecklades 1960 av Theodore Maiman vid Hughes Research Laboratories i USA. Med en rubinlaser lyckades han borra hål i ett så hårt material som diamant. Först på senare år har lasereffekter tillräckliga för svetsning och skärning åstadkommits. I Sverige har lasermetoderna fått användning inom flyg- och bilindustrin.

Svetsmekanisering

I takt med den ökade industrialiseringen över hela världen krävdes nya metoder och utrustningar lämpliga för effektivisering och rationalisering av produktionen. Många företag gjorde själva enkla anordningar för mekanisering av svetsförloppet. Mekaniseringen innebar att svetspistolen hölls och styrdes av en mekanisk utrust-



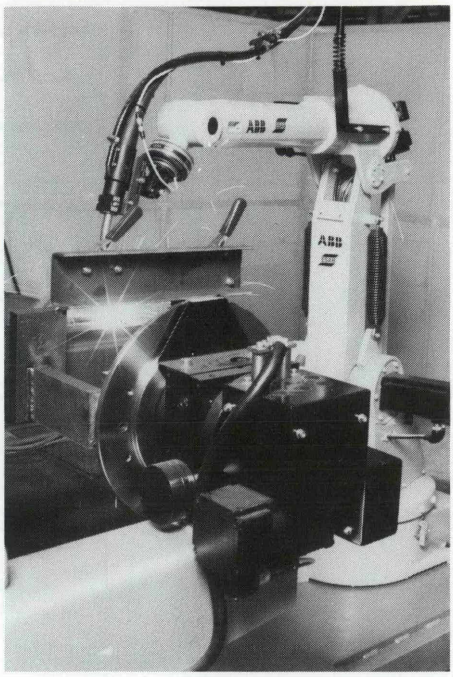
40. Lasersvetsning och laserskärning, princip. Källa: AGA och Permascand AB.

ning och ej av svetsarens hand. Detta ledde senare till bl a utveckling av svetsrobotar.

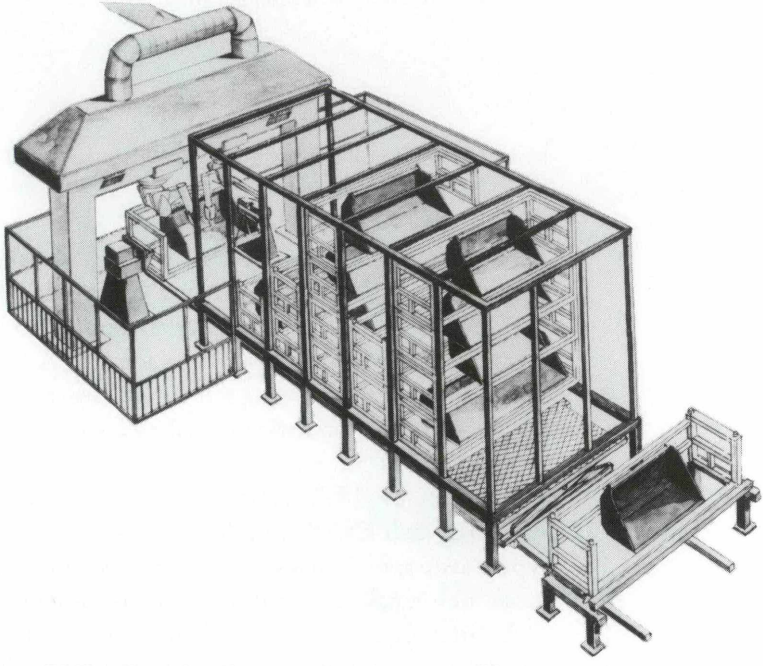
Svetsrobotar. Mer konsekvent infördes svetsmekanisering först av den amerikanska bilindustrin. I början av 1960-talet utvecklade Unimation i USA en robotkonstruktion utrustad för motståndssvetsning. Kort tid därefter började ASEA (ABB-Robotics) i Västerås att arbeta med en egen robotkonstruktion. Efter ytterligare något år kunde den första svenska svetsroboten för motståndssvetsning levereras.

I början av 1970 startade ett samarbete mellan ASEA (ABB-Robotics) och ESAB, som ledde till utveckling av en standardiserad typ av svetsrobotstation för ljusbågssvetsning. 1975 levererades den första helsvenska svetsrobotstationen till den svenska industrin. De båda företagen har nu utvecklat ett nytt robotsystem uppbyggt av standardiserade moduler enligt byggsatsprincipen (fig 41).

Sverige räknas nu som det efter Japan robottätaste landet i värl-



41. Moduliserad svetsrobot. Källa: ESAB, ABB-Robotics.



42. FMS-anläggning för svetsning av grävmaskinskopor. Levererad av ESAB till ÅLÖ Maskiner, Umeå 1989. Källa: ESAB.

den i förhållande till folkmängden. 1990 fanns i Sverige ca 1 000 svetsrobotar.

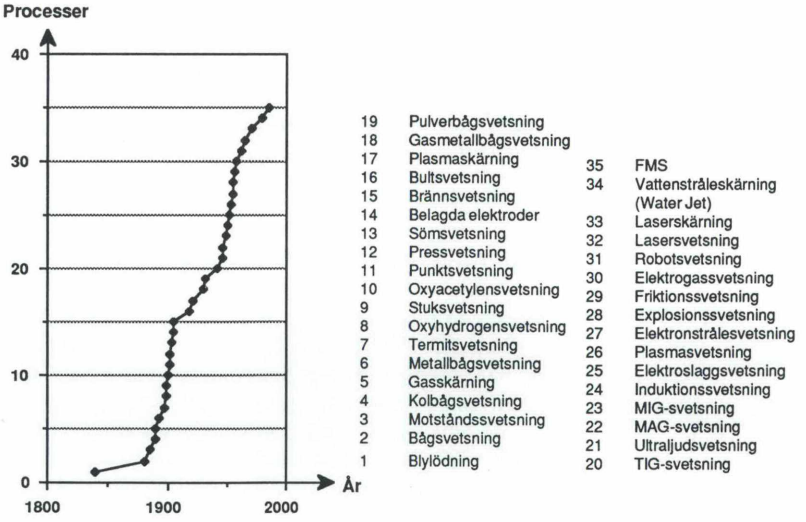
FMS, Flexible Manufacturing System. Ett steg mot ökad svetsautomatisering erhålles med FMS-stationer. FMS utgöres av en datoriserad svetsanläggning med en eller flera svetsrobotar, synkroniserade med transportbanor för automatisk frammatning av de detaljer, som skall svetsas och automatisk bortforsling av färdigsvetsade objekt (fig 42). Vissa FMS-stationer medger obemannad svetsning under hela skift.

Framtiden



43. T M Norén-Brandel, västvärldens förste professor i Svetsteknologi.

Tillverkning av utrustning för svetsning och skärning är nu en miljardindustri. Dess produkter används inom de flesta grenar av tillverkning och industriell produktionsteknik. Från att sedan början av 1900-talet ha betraktats som en empirisk konst och primitiv vetenskap har svetstekniken och svetsmetallurgin under de senaste decennierna fått en plats inom såväl teoretisk vetenskap som högteknologisk processteknologi. Svetsteknologin är i vid mening tvärvetenskaplig och kräver kunskaper inom många olika vetenskapsgrenar t ex ljusbågs- och plasmafysik, termodynamik, högtemperaturkemi, materialvetenskaper, transportfenomen, matematisk simulering, datavetenskap, automation och olika tekniska fält inom mekanisk, kemisk och elektronisk teknologi.



44. Tillväxten av nya svetsmetoder ökar. Källa: ESAB.

Västvärldens förste professor i svetsteknologi var T M Norén-Brandel, som 1964 startade sin verksamhet vid KTH i Stockholm (fig 43). Under 21 år vid KTH utexaminerade han ca 6 500 civilingenjörer i svetsteknologi och ytterligare ca 2 500 svetstekniker i fortbildningskurser på högskolenivå.

Genom de senaste årens utveckling av högintensiva värmekällor t ex laser och elektronstråle underlättas svetsning av de metaller och legeringar, som smälter vid mycket höga temperaturer. Detta har ytterligare ökat svetsteknikens användbarhet, men det har också ökat behovet av förståelse för olika svetsprocesser och olika svetsade materials egenskaper. Detta gäller främst växelverkan mellan plasma och metall vid de mycket höga temperaturer, som råder under svetsprocessen. Det är fortfarande brist på termofysiska data för temperaturer mycket högre än svetsmaterialens smältpunkt. Omfattande teoretiska simuleringar krävs, kombinerade med praktiska experiment och tester.

Fig 44 visar hur tillväxten av nya svets- och skärmetoder ökat under 1900-talet. Det finns ingen anledning förmoda att denna trend skall avta i framtiden.

Litteratur

1. Bibeln, Gamla Testamentet.
2. Simonson R D, The history of welding. Monticello Books, Morton Grove, Ill 1969.
3. Nerheim Gunnar, Gasflamme og lysbue – Perspektiver på et sveisefirmas historie – Norgas AS 1908–1983. Universitetsforlaget, Oslo 1983.
4. Puschner M, 5 Jahrtausende Schweissen. DVS, Düsseldorf 1986.
5. Bernsdorf G, Auf heissen Spuren. DVS, Düsseldorf 1986.
6. Hoffmann Peter, Aus 4 Jahrzehnten Deutscher Autogentechnik. W Peipers & Co, Köln 1938.
7. Welding Handbook. American Welding Society 1973.
8. Knutson-Ek B, Svetsning. LTs Förlag 1983.
9. Lundberg B, Maskinhistorik 1904–1980. ESAB 1980.

Tidskrifterna Svetsen, Svetsaren, Sveiseteknikk, AGA Svetsning, AGAklipp, ESAB-Nytt m fl.

The historical development of welding and cutting

Summary

Already in the Bronze Age, it was known how to join metals by melting them together. In Chaldea and Egypt, for example, one has found graves containing hard-soldered and welded objects which have been dated to a period long before our own epoch.

The only welding method which was used before the middle of the nineteenth century was blacksmith welding. This consists in heating the piece of material over a coal fire until it is white hot and then pressing or hammering it together. The method was a precursor to several pressure welding methods, so-called resistance welding, which began to be used in engineering produc-

tion at the beginning of the present century. The most common method nowadays is spot welding.

From the end of the nineteenth century, it was possible to make use of new technical advances to use energy from electrical resistance, electrical arc or gas as a heat source in welding. Around the same time, gas cutting technology which would prove a valuable complement to welding technology, was developed.

Two Russian scientists developed arc welding methods in the 1880s. Benardos first patented a method where the heat source was an arc between a carbon electrode and the work piece. Filler material was fed from the outside to the molten puddle in the weld joint. The disadvantage of the method was the short life of the carbon electrode and the risk that the carbon would contaminate the molten puddle so that hardening defects occurred. These deficiencies were eliminated by Slavianoff who in 1892 developed metallic arc welding i.e. an arc between a melting metal electrode and the work piece was used. In this way, filler material was supplied automatically. Both these arc welding methods, however, suffered from the disadvantage that the oxygen in the atmosphere freely entered the molten puddle of the weld thus causing a deterioration in the quality of the weld due to oxidation and trapped gases.

Twelve years later a method was discovered for excluding atmospheric oxygen from the weld puddle. The Swede Oscar Kjellberg solved the problem by making welding electrodes coated with a deposit which melts at high temperature. The deposit then gives off a gas which shields the puddle. In 1904, he established ESAB, now a world leading enterprise in the field of welding.

It was however gas welding and cutting which was first employed in industry. After the discovery of acetylene in 1892, a market very soon developed for this gas as a very energy-rich light and heat source and it was soon used, mixed with oxygen, as a welding gas. Its disadvantage was a tendency to explode which led to tragic accidents. The Swede Gustav Dalén played a major role through his contributions relating to safety in the use of acetylene in lighting, welding and cutting. He was the first to demonstrate gas welding in Sweden and the firm AGA which he later headed, has subsequently occupied the front rank in the development of welding gases and welding equipment.

The world wars have greatly influenced the development of welding technology. Before the First World War, gas welding was mainly used for repair work but during the war years it became an established tool of production in many countries. After the War, new arc welding methods were developed but their use was limited by the lack of shielding gases. During the Second World war, there were new demands for welding various new metals and alloys. This stimulated greatly research and what has now become the most common arc welding methods e.g. TIG, MIG and MAG were developed. At the same time, shielding gases such as argon and helium became available relatively cheaply through developments in industrial gas technology.

The postwar period has seen the emergence of several special advanced technological welding and cutting methods for new materials which make use of energy from e.g. plasma, electron beam and laser. The mechanisation and automation of welding technology as well as the improvement of the welder's working environment have a high priority in the development programme.