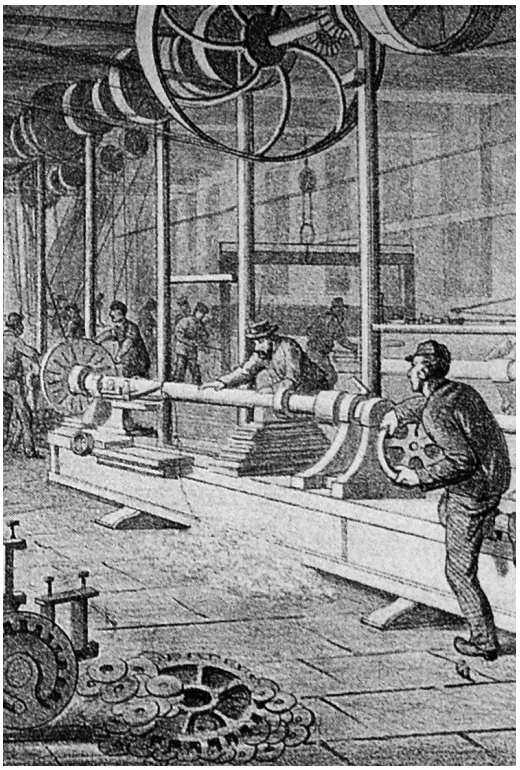
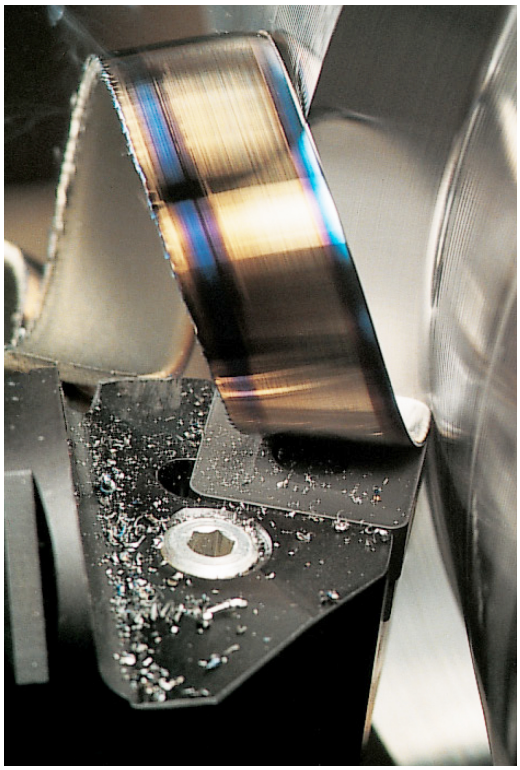
Mekaniska verkstäder och verkstadsindustri





Denna skrift behandlar verkstadsindustrin i Sverige och dess föregångare de mekaniska verkstäderna. En bransch som började med att bearbeta järn men senare arbetar med nästan alla förekommande metaller och många ickemetalliska material. Verkstadsindustrin tillverkar idag både mekaniska och elektriska komponenter samt färdiga bruksföremål.

Denna skrift beskriver de vanligaste bearbetningsmetoderna, arbetssätten och maskiner som använts tidigare samt det som är använt idag. Skriften är avsedd att vara en generell beskrivning och ge förklaring till uttryck och benämningar i skrifter om enskilda företag men kan också läsas separat.

Bo Edlund

Mekaniska verkstäder och verkstadsindustri.
Version 200916

Författare: Bo Edlund
epost: kontakt@brukshistoria.se

Innehåll	Sida
Mekanisk verkstad och verkstadsindustri	1
Verkstadens kraftförsörjning	2
Metallgjutning	3
Gjutning av plastmaterial	5
Metallbearbetning	5
Bearbetning av ickemetalliska material	6
Plastisk bearbetning	7
Smide	7
Kantpressning	10
Rundbockning	12
Dragpressning och sträckpressning	13
Trycksvarvning	15
Styckavskiljande bearbetning	16
Klippning	16
Stansning	18
Gasskärning	20
Plasmaskärning	21
Laserskärning	22
Vattenskärning	25
Pressutrustningar	26
Skruvpressar	26
Excenterpress	28
Knäledspress	29
Hydraulpressar	29
Gnistbearbetning	31
Numerisk styrning	32
Spånavverkande bearbetning	35
Svarvning	37
Supportsvarv	38
Karusellsvarv	39
Patronsvarv	40
Revolversvarv	41
Kamstyrd automatsvarv	42
Numeriskt styrda svarvar	42
Fräsning	44
Fräsmaskiner	44
Arborrverk	46
Numeriskt styrda fräsmaskiner	47
Hyvling	48
Sågning	49
Borrning och brotschning	51
Gängning	53
Slipning	54
Sammanfogningsmetoder	56
Nitförband	56
Skruvförband	57
Svetsning	59
Bågsvetsning	60
Gassvetsning	63
Motståndssvetsning	63
Plasma- och lasersvetsning	64
Explosionssvetsning	64
Friktionssvetsning	65
Lödning	65
Limning	66
Svetskommissionen	67
Ytbehandling	67
Industrirobotar	69
Transferlinje	70
Montering	71
Verkstadsindustrins byggnader	73
Verkstadsföretagens framtid	77

Teckningen till vänster på omslaget från 1873 av en okänd konstnär visar en interiör från Göteborgs Mekaniska Verkstad vilken sedermera blev Götaverken. Teckningen är hämtad från Wikipedia. Fotot till höger kommer från Sandvik Coromant och visar hur en svarvspåna bildas.

Skriften får helt eller delvis kopieras och spridas fritt under förutsättning att källan anges. Däremot får kopior av materialet ej försäljas utan författarens medgivande.

Upphovsmännen eller rättighetsägarna till fotografierna anges vid bilderna. Författaren är upphovsman till de foton och bilder där uppgifter saknas.

Källor:

Karlebo handbok
Gjuteriteknisk handbok, Gjuteriföreningen
Utbildningshandbok Skärande Bearbetning, Sandvik Coromant
Svensk industri 1948, Sveriges industriförbund
Nordisk familjebok, Uggleupplagan
Teknisk Tidskrift
Företagsinformation och broschyrer
Artiklar och notiser ur gamla dagstidningar
Wikipedia

Jag vill tacka de personer och organisationer som bidragit med kunskaper och material till denna skrift. Jag vill särskilt tacka Gert Assermark och Sten Porsvald för genomläsning och synpunkter.

TÄBY 2020

Mekanisk verkstad och Verkstadsindustri

Beteckningen ’Mekanisk verkstad’ började användas redan i början av 1800-talet och avsåg då en industriell anläggning för tillverkning av maskiner eller redskap av järn eller stål. Ganska begränsat område men senare när mässing och aluminium blev vanliga utvidgades arbetsområdet ”järn eller stål” utan bråk till metaller eller till och med icke metalliska material i största allmänhet. Den mekaniska verkstaden anser man tillverkar nyttoföremål och därmed får inte hyttor och hammarsmedjor höra till verkstäder även om de gjuter tackjärn och tillverkar smidesjärn. Däremot räknas manufaktursmedjor som verkstäder.

Sverigs första mekaniska verkstad anlades 1769 av Tomas Lewis, en skotte som byggde ett gjuteri i Bergsund i Stockholm. År 1784 övertog grosshandlaren Daniel Asplund gjuteriet varefter han byggde till ett stålsliperi. Efter Asplunds död 1804 köpte CD Wilke gjuteriet och anställde senare under tre års tid engelsmannen Samuel Owen för att övervaka tillverkningen av den första sverigebyggda ångmaskinen. På Bergsund började man utveckla ångdrivna stålfartyg som tillsammans med brokonstruktiner av stål kom att vara företagets stora produkter. Efter flera ägarbyten bildades av företaget 1870 Bergsunds Mekaniska Verkstads Aktiebolag.

År 1809 startade Samuel Owen Kungsholmens Mekaniska Werkstad i Stockholm som bestod av ett gjuteri och en mekanisk verkstad. Denna verkstad blev ett riktmärke för svenska verkstadsföretag, den hade ett flertal verktygsmaskiner och Owen utvecklade ständigt nya maskiner. Han satte in stora utbilningsinsatser för sina arbetare och dessa kunniga människor spreds över Sverige.

Därpå startades en mängd mekaniska verkstäder i Sverige:
- 1822 grundades Motala Verkstads AB av Göta Kanalbolag på initiativ av Baltzar von Platen
- 1832 grundades Munktells Mekaniska Verkstad AB i Eskilstuna av Johan Teofron Munktell
- 1833 grundades Jonsereds Fabrikers AB utanför Göteborg av William Gibson
- 1836 grundades Malcolms mekaniska verkstad i Norrköping av Andrew och Alexander Malcom
- 1840 grundades Kockums Mekaniska Verkstad i Malmö av Frans Henrik Kockum
- 1841 grundades Keillers mekaniska verkstad i Göteborg, senare Götaverken av Alexander Keiller
- 1844 grundades J & CG Bolinders mekaniska Verkstad i Stockholm av bröderna Jean och Carl Gerhard Bolinder. Carl Gerhard var för övrigt en av Samuel Owens lärjungar.

Många av de som startade företag var engelsmän och skottar som hade erfarenheter av den industriella revolutionen och förde över sina kunskaper till Sverige. Den tekniköverföringen var till stor nytta och resulterade i slutet av 1800-talet och början av 1900-talet i en mängd nya verkstadsföretag här, en del lever fortfarande:
- 1873 startade det som blev Atlas Copco av tidigare två företag AB Atlas och AB Diesels Motorer
- 1876 startade det som blev Ericsson. tidigare LM Ericsson
- 1883 startade det som blev ABB, tidigare ASEA
- 1883 startade det som blev Alfa Laval, tidigare AB Separator
- 1893 startade det som blev ABB STAL, tidigare AB de Laval Ångturbin och Svenska Turbinfabriks AB Ljungström
- 1904 startades AGA
- 1907 startades SKF

En annan, numera mer vanlig, betydelse av mekanisk verkstad är ett ställe för förbättring eller reparationer av maskiner eller redskap. En sådan verkstad behöver inte vara en industriell anläggning av samma typ som den tillverkande verkstaden. I allmänhet är reparationstiderna ganska korta och man tar emot de maskiner som kunderna vill ha reparerade eller ändrade. Det tydligaste exemplet på detta arbetssätt är en bilverkstad fast det inte ses som någon mekanisk verkstad. Denna typ av mekanisk verkstad uppfattas numera som en mindre arbetsplats för några tiotal anställda och mer hantverksorienterad.

Om mekanisk verkstad har en mycket bred betydelse är begreppet ’verkstadsindustri’ ännu bredare, Det kan betyda små eller stora företag som tillverkar allt ifrån prylar till gigantiska maskiner eller konstruktioner med mekaniskt innehåll samt ofta eltekniska och elektroniska komponenter. Tillverkningen sker i stora serier av likartade produkter eller enstaka mycket stora och komplicerade produkter med långa tillverkningstider,

Ordet verkstadsindustri används dessutom ibland för att beteckna hela branschen, speciellt när det gäller sysselsättning och ekonomi.

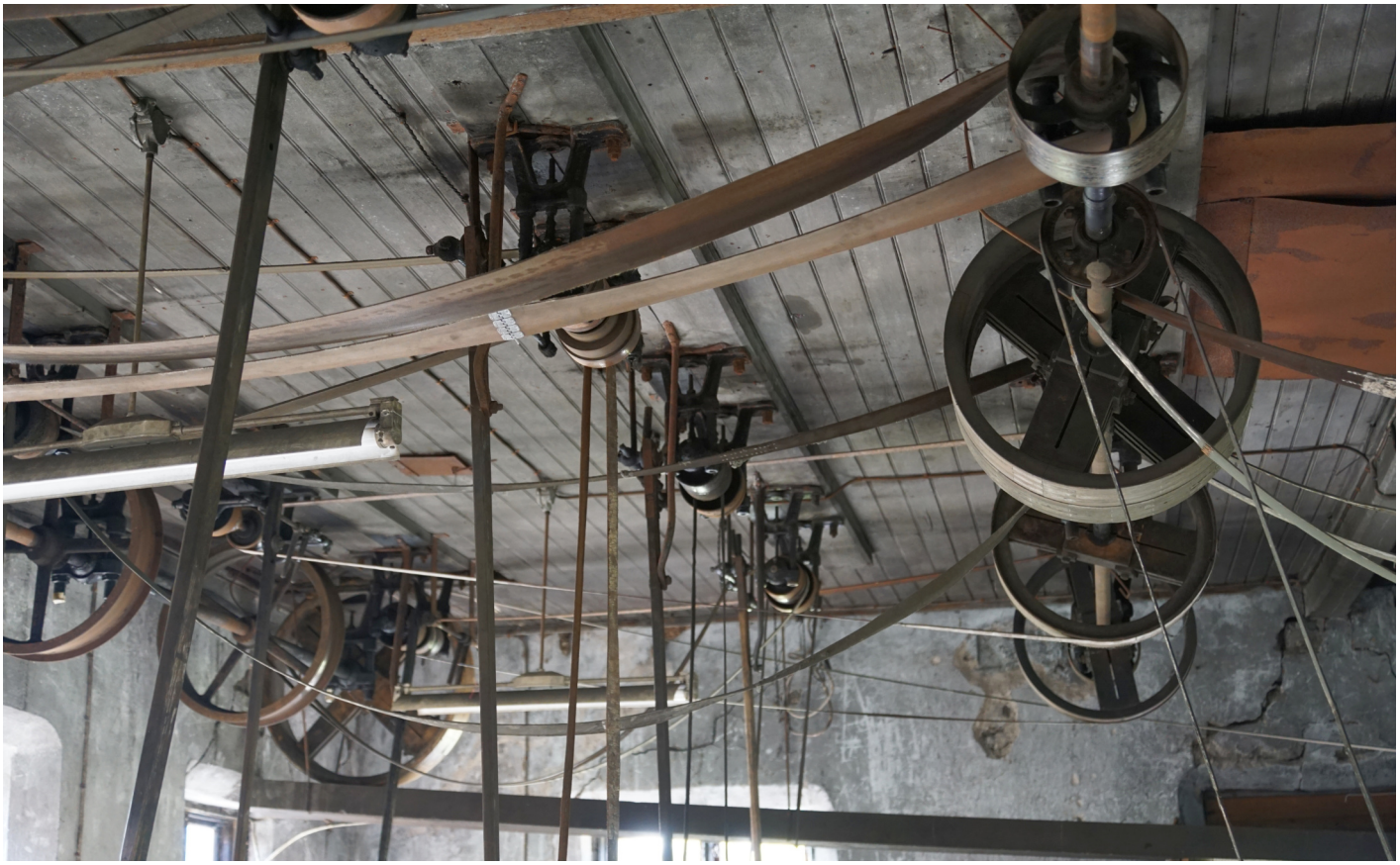
Verkstadsindustrins företag ser olika ut beroende på vilka produkter som tillverkas, hur stor produktionen är och vilken produktionsfilosofi företaget bestämt sig för. Rent generellt har nog varje företag sin alldeles egna produktionsfilosofi men det finns en fråga av övergripande betydelse som debatterats i flera årtionden utan att man lyckats avgöra vad som är rätt eller fel – ska vi köpa de komponenter vi behöver till våra produkter eller ska vi tillverka dem själva.

Förespråkare för systemet att göra allt själv hävdar att det är det enda sättet att kontrollera komponenternas kvalitet och därmed kvaliteten på sina produkter. Den andra sidan framförde med lika kraftigt eftertyck att man bara ska syssla med det man är duktig på och köpa komponenter från dem som kan producera bättre. På det sättet kan man höja kvaliten på sina produkter och sänka kostnaden. Matchen mellan de båda helt olika inställningarna har nog slutat oavgjort. Dessutom har världen förändrats, verkstadsprodukter har fått stora förändringar i sitt innehåll. Det är inte bara mekaniskt innehåll i dem, utan också högteknologiskt eltekniska enheter, elektronik och datorteknik är inblandade. Praktiskt sett har hela verkstadsindustin tvingats hålla sig med underleverantörer.

Efter det andra världskriget skaffade man sig, i varje fall de större verkstadsföretagen, underleverantörer för att möjliggöra stora produktionsökningar. När stora vinster började komma köptes underleverantörer in och lades i koncernen ända till produktionsökningar krävde nya underleverantörer. Och så fortsatte det ända till mitten på 1970-talet då världsekonomin fick snuva och den svenska ekonomin blev sängliggande i influensa och det krävdes nya strategier.

Verkstadens kraftförsörjning

Maskinerna i de tidgaste manufaktursmedjorna bestod endast av hammare (mest knipphammare) samt någon blåsbälg och de drevs liksom de större släktingarna räck- och mumblingshammare av vattenhjul, ett vattenhjul per hammare och blåsbälg. På 1840-talet kom blåsmaskiner som genom rotation av en vevaxel och kolvar skapade blästerluft. De drevs till en början direkt med vattenhjul som med tiden byttes mot effektivare vattenturbiner. Under andra halvan av 1800-talet skaffades fler roterande maskiner till mekaniska verkstäder och en vattentubin fick försörja alla maskinerna med kraft via en centraltransmission.



Centraltransmission. Axlarna med stora remskivor driver de små remskivorna som i sin tur driver maskinerna.

En centraltransmission är uppbyggd av en axel monterad i taket som sträcker sig längs med verktaden och som drivs av en motor som aldrig stoppas under arbetstiden. Parallellt med den axeln finns ytterligare axlar som via remskivor och remmar är kopplade till den motordrivna axeln. Likaså i taket rakt ovanför maskinen fästes två remskivor invid varandra med en rem från en motordriven axel. Den ena av de två remskivorna kopplades med en rem till maskinen, den andra var frilöpande. Fördes den drivande remmen åt sidan kunde man få den att antingen gå på den frilöpande skivan eller på den maskindrivna. Det här var maskinens start och stopp. I olyckliga fall fördes remmen för långt åt sidan och hoppade av remskivorna. Det hände ofta någon timma före arbetstidens slut på lördagar. Än i dag förklarar en del människor sin vila med att ’remmen hoppat av’.

Centraltransmissioner möjliggjorde drift av flera maskiner från en motor och användes långt in på 1900-talet. Vattenturbinen ersattes mot 1800-talets slut av en ångmaskin och ibland av en tändkulemotor. En liten bit in på 1900-talet när elkraft producerades i större mängd blev elmotorer dominerande.

I mitten av 1900-talet när tillgången på elkraft var obegränsad och vi lärt oss att tillverka små, högeffektiva och billiga elmotorer gavs varje maskin sin egen motor. Det blev mindre hälsovådligt i verkstaden då oskyddade fladdrande remmar försvann. Dessutom kunde maskiner placeras ut mer funktionellt.

Metallgjutning

Metallgjutning är en av de äldsta metoderna för formning av metaller eller metallegeringar och har använts i ungefär 5 000 år. I mycket korta drag görs det genom att man skapar ett hålrum inne i en form som man sedan fyller med flytande metall som får svalna och stelna i formen. I teorin är processen enkel men det är något mer komplicerad i praktiken.

Gjutformen brukar i de allra flesta fallen vara delad i två delar så man lätt kommer åt att utforma hålrummet som ska fyllas av gjutmetallen. Om formen är avsedd att användas vid flera gjutningar görs den av gjutjärn eller stål och då skapar man hålrummet genom att bearbeta fram gropar i formdelarna. En metallform som metallsmältan hälls i kallas kokill.

Metallformar används också vid en process som kallas pressgjutning där formhalvorna trycks samman med stor kraft och den smälta gjutmetallen trycks in i formen med högt tryck så att formen fylls så fort att gjutmetallen inte hinner börja stelna innan formen är helt fylld. Här används verktygsstål till formarna. Metoden är mycket vanlig då många detaljer som har komplicerad struktur och tunna väggar ska gjutas. Pressgjutning är lämplig då gjutmetallen har låg smälttemperatur. Man pressgjuter lättmetaller som aluminium och magnesium men inte titan. Vidare används pressgjutning för zink och koppar samt kopparlegeringar som brons, rödmetall och mässing.

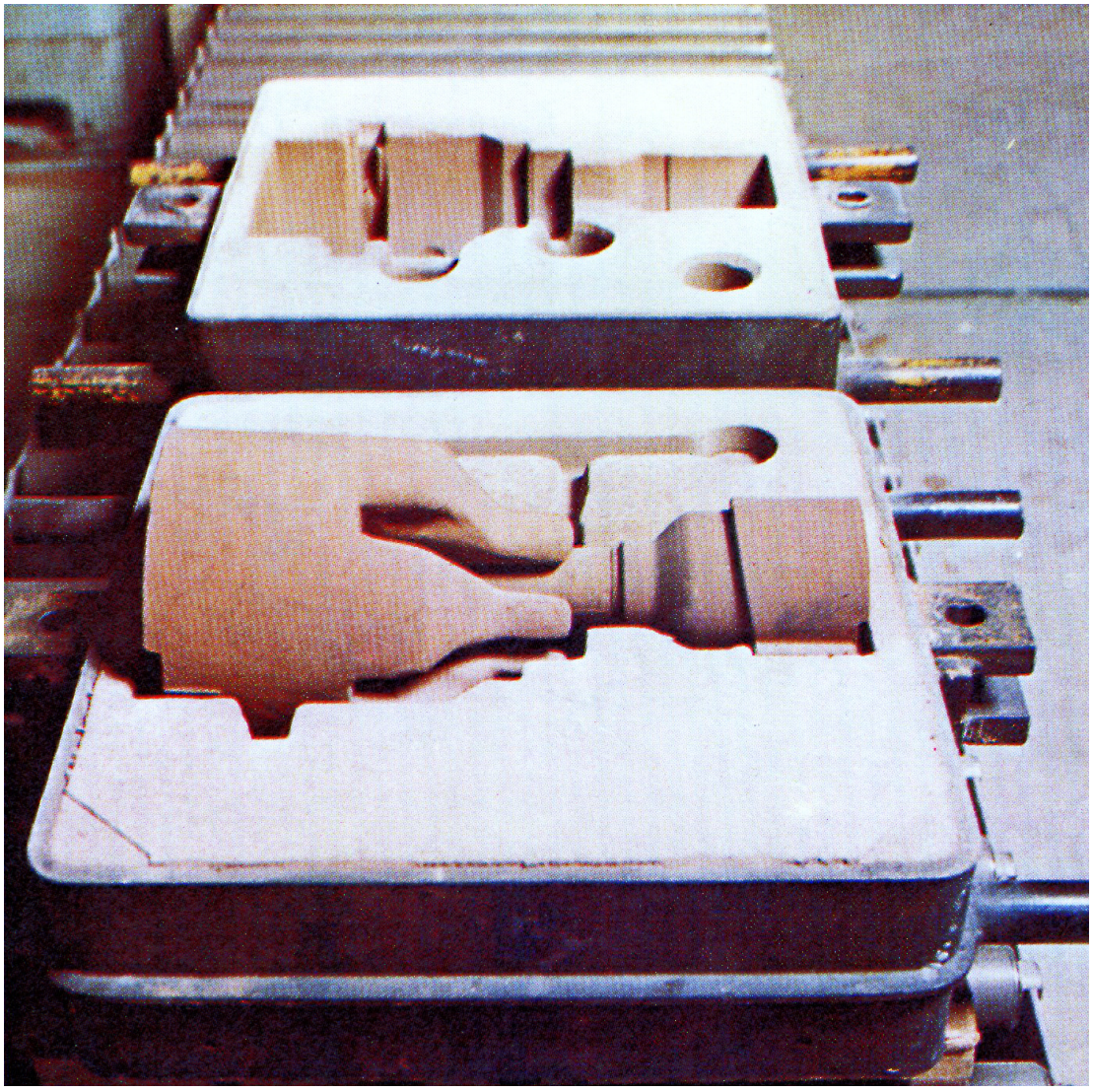
Pressgjutmaskinerna är väldigt komplicerade vilket inte syns från utsidan. I komprimerad tid visas bygget av en sådan maskin med en videosekvens som hittas på adressen https://brukshistoria.se/?page_id=344

För gjutning av järn- och stållegeringar eller då ett litet antal detaljer ska gjutas används engångsformar av sand. Den vanligaste formsanden som den kallas består till största delen av vanlig sand, bindemedel som lera eller bentonit och vatten samt sot eller kolpulver. För att få gjutgods med en jämn och fin yta används ibland konstgjutarsand som består av mycket finkornig sand och olja som bindemedel.

Tillverkningen av en sandform görs antingen maskinellt eller för hand. Först tillverkas en modell i ett lättbearbetat material, exempelvis trä, av det föremål som ska gjutas. Modellen ska användas för att utforma hålrummet i formen. Modellen måste göras några procent större än det gjutna föremålet ska vara eftersom metallsmältan som fyller formen kommer att krympa när den svalnar. Det behövs också en formflaska för att göra formen. Formflaskan består av två ramar av stål eller gjutjärn som läggs på varandra och ska vara så stor att modellen och ett tjockt sandlager runt omkring ryms inuti formflaskan.

Formflaskans undre ram läggs på ett bord och fylls med formsand. Modellen trycks ner i sanden till hälften eller så packas sanden hårt mot formflaskans väggar och modellen. Sandens yta skrapas av och pudras med

ett släppmedel för att undvika att sanden i formens övre del häftar i den undre. Nikt som är pollenkorn från växten mattlummer användes tidigare som släppmedel men numera finns andra ersättningsmedel. Därefter läggs formflaskans övre ram på och fylls med formsand som packas hårt. Slutligen lyfts formflaskans övre del av och modellen plockas ur formen. I den övre delen av formen gör man ett ingöt, ett hål genom vilket metallsmältan ska rinna i till hålrummet i formen. Om man ämnar ha ett hål i gjutgodset placeras en kärna i den undre formhalvan. Kärnan motsvarar hålets form och den tillverkas av gjutsand i en formlåda.



En delad formflaska, överdelen längst bort och underdelen med två inlagda kärnor är närmast. Mellan handtagen på formhalvorna sitter öron med hål. I hålen sätts styrpinnar som säkrar att halvorna kommer i exakt läge i förhållande till varandra. Foto Svenska Gjuteriföreningen.

När den övre formdelen lagts på den nedre delen och låsts fast återstår det endast att hälla i den smälta metallen i ingötet. När allt svalnat slår man sönder sandformen, rensar gjutgodset från sand och slipar bort ingötet och gjutskägget (den metall som trängt ut mellan formhalvorna) varefter gjutgodset är klart. Sanden sållas och nästan all sand kan återvinnas till ny gjutsand.

Sandgjutning är en uråldrig process och den ser ut att användas i framtiden också även om det kommer att uppfinnas andra hjälpmedel och arbetssätt.

Vill du veta mer om gjutning slå upp ’Gjuteriteknisk handbok’ på internet https://gjuterihandboken.se/

Gjutning av plastmaterial

Plast är en generell benämning på en stor mängd olika syntetiska material med långa molekylkedjor som är starkt eller svagt bundna till varandra. Alla plastmaterial utom silikonerna består av organiska föreningar. Silikonerna bygger på kiselkedjor. Vissa plastmaterial har så svaga bindningar mellan de långa molekylkedjorna att de löses upp när man värmer plasten utan att kedjorna förändras och plasten blir en mycket trögflytande vätska som stelnar när plastmassan svalnar. De plasterna kallas termoplaster och är användbara på nytt. I de andra plastmaterialen är molekylkedjorna så hårt bundna till varandra att kedjorna också förstörs av när bindningarna mellan dem upplöses. Dessa plaster kallas härdplaster.

De vanligaste termoplasterna är polyvinylklorid, polyeten, polypropylen, omättad polyester, polystyren, polyamid (nylon) och polytetrafluoreten (teflon).

Termoplaster gjuts med en process som heter formsprutning vilken fungerar exakt som pressgjutning och använder liknande utrustning men maskinerna använder både betydligt lägre temperaturer och lägre presstryck.

De vanligaste härdplasterna är fenolplast (bakelit), ureaplast. melaminplast, epoxiplast, mättad polyester och polyuretan. Plasterna härdas under värme eller med härdare och värme eller enbart härdare. De gjuts i enkla formar som rena plastmaterial eller tillsammans med fibermaterial för mycket ökad styrka. Tidigare användes väv eller papper som armerande fibermaterial men numera är glasfiber eller kolfiber vanliga material för armering. Armerat plastmaterial kallas kompositmaterial. Helst pressas plastmaterialet och fibrerna så att överskottet av plast pressas ut ur härdplastplast-fibermaterialet vid gjutningen därför att kompositen blir starkare ju större andel fiber den innehåller. Numera tillverkas enormt starka, tunna och lätta komposit-material av tunna vävnader av kolfiber som impregneras med utgångsmaterial till härdplast och läggs samman samt pressas under härdningen.

När det gäller gjutning av skrov till större och mindre båtar är det inte rimligt att tillverka stora pressformar utan man använder en form för utsidan av skrovet. På insidan av formen lägger man på glasfiberväv, blöter den med små mängder av epoxi eller styren och trycker fast väven för hand med rullar så gott det går. Därefter lägger man på ett nytt lager väv osv.

Härdplaster kan efter härdningen bearbetas med spånskärande verktyg efter härdningen.

Härdplastmaterialen, härdämnena och alla lösningsmedel är mycket elaka mot människor men efter härdning och när alla lösningsmedel avdunstat är härdplasterna ofarliga att hantera och använda.

Metallbearbetning

Då form och storlek av ett metallstycke ska förändras bearbetas det med ett verktyg som förs över stycket. I vissa fall förs arbetsstycket under verktyget men det är ju analogt med det första fallet. En klensmed håller arbetsstycket i en hand medan han med den andra handen slår hammaren mot arbetsstycket. Han kan då flytta arbetsstycket till rätt punkt på städet oberoende om punkten ligger till höger eller vänster eller närmare eller bortåt. Han kan också flytta stycket till en punkt som har en kombination av riktningar. När detta jobb skulle mekaniseras för ett par hundra år sedan, det vill säga göras av en maskin, uppstod problem. Hammaren som gick upp och ner skapade inga svårigheter. Den vattenhjulsdrivna knipphammaren hade uppfunnits flera hundra år tidigare. Rörelsen av arbetsstycket måste utföras av en människa.

Med de första verktygsmaskinerna, svarvar för metall, som kom i början av 1800-talet var försedda med slider för att röra verktyget utefter raka banor men rörelsen sköttes med en skruv som vreds runt för hand. Det är egentligen fel att säga att svarvarna var försedda med olika utrustningar för det fanns inga ritningar på svarvar. Man beställde en svarv av sin smed vilken utan ritningar försökte bygga en maskin som motsvarade önskemålen, liknande funktioner hade olika lösningar. Alla maskiner var helt olika varandra men man kunde svarva cylindrar med plana ändytor. När en av sliderna gjordes vridbar gjordes svarvning av koniska ytor möjlig.

Från mitten av 1800-talet serietillverkades svarvar som hade en växellåda som från spindeln styrde röresehastigheten på längdmatningen, verktygets rörelse längs med spindelns rotationsaxel. Då var det

möjligt att gänga i en svarv vilket var ett stort framsteg. Den blev urfadern till den moderna supportsvarven som ibland används än idag. Verktyget kan dock bara röras utefter en rak linje men maskinerna var fortfarande bara en förlängning av operatörens händer.

Under 1920-talet började automatsvarvarna komma. De styrdes av kamskivor och hade hela rörelsesekvenser lagrade i skivpacken där hävarmar låg an mot skivorna och påverkade alla maskinens delar. De matade in nytt material till spindeln styrde samtliga bearbetningsmoment och skar av det färdiga arbetsstycket från materialstången. De gick automatiskt så länge det fanns stångmaterial i magasinet och verktygen inte havererade. De tillverkade hundratals svarvade smådetaljer per timme och behövde inte så mycket tillsyn men det tog tid att byta tillverkningsprogram.

På 1960-talet började rymdflygningprogrammen som krävde allt mindre och lättare elektronik och priset sjönk snabbare än aktier i en lågkonjunktur. Samtidigt började kraftfulla små och lättreglerad små motorer samt mycket noggranna elektriskt arbetande mätverktyg att tillverkas. På slutet av 1960-talet tillverkades eletroniska styrsystem för att styra verktygsrörelser hos verktygsmaskiners med hjälp av de kraftig elmotorerna och de noggranna mätverktygen. Arbetsprogrammen kumde vara jättestora och de lagrades på hålremsor som bokstavs- och sifferkoder som stysystemet läste radvis. Maskiner med sådana styrsystem kallades NC-maskiner efter det engelska uttrycket ’Numerical Control’ eller på svenska ’Numerisk Styrning’ (NS) och maskinerna var då svindyra. Styrsystemen kunde styra verktygsbanor i två axlar samtidig så man kunde beordra rörelse exempelvis i cirkelbanor, något som var helt omöjligt tidigare. NC-maskinerna bearbetade så noggrannt så att måttavvikelserna på arbetsstyckena blev små, något som inte uppnåtts tidigare.

Knappt tio år senare kom nästa stora utvecklingssteg i bearbetningstekniken i och med att man satte en dator i NC-maskinernas styrsystem. Det kallas CNC, Computerized Numerical Control, eller på svenska Datoriserd Numerisk Styrning. Programmen blev enklare att läsa och ändra, flera delrörelser kunde skrivas på en programrad och verktyget kunde samtidigt föras i tre eller flera axlar samtidigt. Det går exempelvis att flytta verktyget i en spiral. CNC-maskinerna blev också relativt sett billigare och är mer universella så att flera manuella specialmaskiner kom att rensas ut ur verkstäderna.

CNC-tekniken kombineras också med CAD/CAM som står för Computer Aided Design And Manufactoring vilket betyder datorbaserad konstruktion och tillverkning. Konstruktören har kastat ut ritbordet och beskriver detaljens utseende och mått för CAD-systemet och får se en 3D-bild av detaljen som han kan vrida och vända hur han vill. När konstruktören är nöjd skickar han datafilen till CAM-systemet som skapar ett CNC-program till lagring i databiblioteket. CNC-operatören hämtar på internetvis rätt progam till sin maskin och monterar rätt arbetsstycke i maskinen och trycker på startknappen. Sedan är det operatören som med lämpliga åtgärder ska se till den färdiga detaljen inte blir en varg. Det verkstadsspråkets beteckning för något som är ohjälpligt felbearbetat.

Det kan också nämnas här att man i CAD-systemet kan montera ihop alla detaljerna för att kontrollera om det färdiga kommer att rymmas den låda som också konstruerats. Det är med andra ord CAD-systemets fel att du, efter att ha öppnat motorhuven i din bil, tror att du har ett lock till över motorn.

Datoriseringen har verkligen invaderat verkstadsindustrin. Inte bara tillverkande maskiner har mycket datorkraft inbyggd utan också kontroll- och mätutrustningar. Det finns datorstyrde mätmaskiner och datorutrustade mutterdragare som kan avgöra om skruvförbandet dragits åt korrekt.

Bearbetning av icke metalliska material

Icke metalliska material försöker man undvika bearbeta i verktygsmaskiner, det är billigare att få detaljen levererad gjuten, kapad eller tillklippt i rätt form. Skulle det av något skäl, om det exmpelvis skall vara skruvhål i detaljen eller andra justeringar, kan det utan olägenhet göras i verktygsmaskiner och saxar för tunnplåt men i de flesta fall behövs andra skärande verktyg och andra inställningar på saxar och stansar.

Av termoplaster tillverkas ofta lister med olika tvärsnittsprofiler genom strängsprutning. Det verkställs genom att plasten värms upp och trycks genom ett munstycke med ett hål som ser ut som den önskade profilen. Plasten kyls ned när den har lämnat munstycket.

Plastisk bearbetning

Plastisk bearbetning innebär att ett arbetsstycke får formen permanent förändrad genom högt tryck eller slag. Bearbetningen kan antingen ske med kallt eller varmt material. Med kallt menas rumstemperatur eller något däröver men omedelbart efter bearbetningen kan materialet vara hett. Vid bearbetning med varmt material är temperaturen inte så långt ifrån smältpunkten.

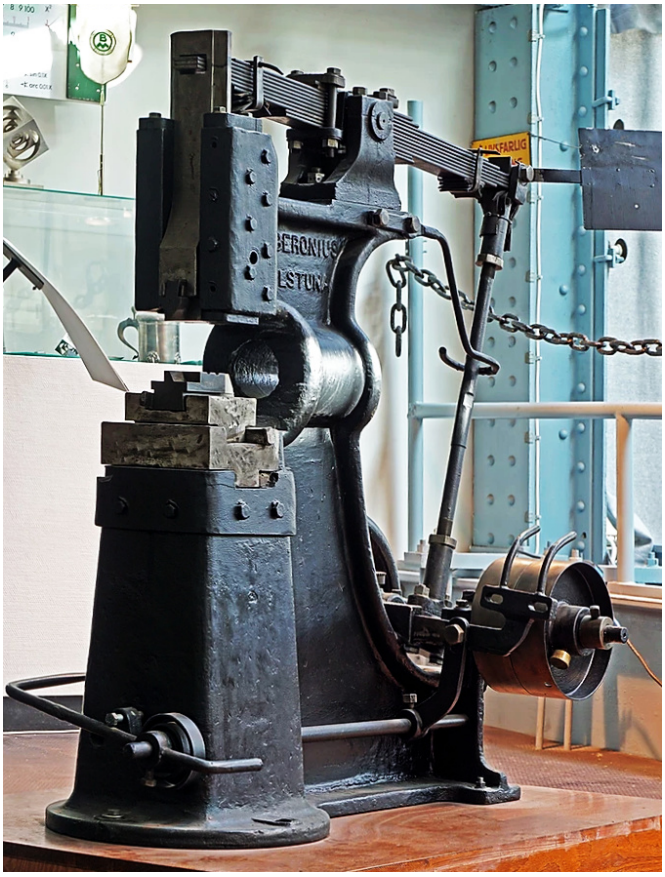
Rent generellt ger en måttlig bearbetning ett något hårdare material och bättre hållfasthetsegenskaper men en hård bearbetning kan ge sprickbildning och mycket försämrad hållfasthet. Risken för sprickbildning minskar ju mjukare metallen är och ju varmare arbetsstycket är. Exempel på en extremt mjuk metall är rent guld, det kan hamras ut till ett blad som är en tiotusendels millimeter tjockt utan att spricka.

Smide

Smide är en mycket gammal bearbetningsmetod som utvecklats i samband med järnhanteringen. Ungefär 1500 år f Kr började järnåldern i Asien och ungefär 1000 år senare i Norden. Metoden går ut på att glödande metall beabetas med hammare med ett tungt städ som mothåll. Guldsmeder fanns ju långt innan järn började användas och de borde ju smida, det hörs ju på namnet. Guldsmeder, silversmeder och kopparslagare arbetade med metaller som är mjuka och formbara redan vid rumstemperatur och deras process kallas idag för drivning men det liknar smide. De var och är nog inga riktiga smeder, de bara kallas smeder av historiska skäl.

Järn eller stål är bäst smidbara vid en temperatur mellan 800 °C och 1200 °C (arbetsstycket lyser mörkt körsbärsrött vid 800 °C och gulorange vid 1200 °C). När man slår på järnbiten blir den lite tunnare på den ena ledden, lite tjockare på den andra ledden och lite längre. Vill man ha järnstycket lite tjockare runt om reser man det på högkant och dunkar på änden, det kallas stukning. Det är som att arbeta med modellera. Smitt material får förändrad kristallstruktur så att det blir både starkare och segare. Industriellt har handsmidet försvunnit sedan länge men konstsmeder använder metoden på klena arbetsstycken som knivblad och smala stänger. Med grövre arbetsstycken är handsmidet oerhört tungt för det behövs också en tyngre hammare.

Ånghammare från Surahammars Bruk.



Fjäderhammare. Foto Munktellmuseet, Eskilstuna.

Smide av små detaljer underlättades tidigt av vattenhjulsdrivna knipphammare. De hade ganska lätta hammarhuvuden, högst 8–10 kilo, liknade räckhammare men hammarslagen kom snabbare. Pinnarna som lyfte hammaren satt tätare på vattenhjulsaxeln. Knipphammare utnyttjades ofta till för smida spikar.

Omkring är 1900 började fjäderhammare användas i smedjor och används fortfarande i små smedjor medan industrin har övergått till andra maskiner. Fjäderhammare är utomordentliga maskiner som emellertid fungerar bäst i småskalig tillverkning. I princip består fjäderhammaren av en bladfjäder som upphängd på mitten påverkas av en vevaxel i ena änden. En liten hejare, som löper utefter en gejder, är fastsatt i den andra änden av bladfjädern.

Större smidesstycken kräver större och tyngre hejare som stora hammarstycken ofta kallas. Cirka år 1870 började många mumblingshammare ersattes av ånghammare. En ånghammare har gejder som en hejare om ett par ton rör sig vertikalt utefter. Hejaren lyfts av en cylinder som med vattenånga som tryckmedium, när den släpps används ånga också för att öka hammarens fallhastighet.

Det stora tryck en tung hejare skapa när de faller mot smidesgods kan numera skapas med hydraulpressar. Sådana smidespressar tillverkas för att smida mycket grova och långa arbetsstycken. Smidesämnet hålls fast i en manipulatortång som efter smedens önskemål skjuter ämnet in i pressens arbetområde och vrider det under pressen. På andra sidan av pressen hålls ämnet upp av en kedja. Smidet är väl lämpat för stora och höghållfasta axlar exempelvis propelleraxlar till stora fartyg. I en smidespress är det mycket enklare att forma arbetsstycket än i hejarsmide, särskilt med hydraulpressars högre noggrannhet, avancerade datorer och datorstyrda hjälpmaskiner.

Smide av en axel i en hydraulisk smidespress. Foto Pia & Hans Nordlander för Jernkontoret.

Sänksmide är en särskild smidesprocess utformad för att används vid serietillverkning av pålitligt starka och sega föremål som exempelvis handverktyg och lyftkrokar.

Arbetsmaterialet smids varmt i en form av stål bestående av en överdel och en underdel med urtag som tillsammans ska ge arbetsstycket sin slutliga form. Ett uppvärmt ämne placeras i understycket och överstycket slås eller pressas mot ämnet och understycket. Ämnet ska pressas ut i alla delar av formen.

En modern smed på sin arbetsplats. Foto Pia & Hans Nordlander för Jernkontoret.

I allmänhet erfodras flera slag för att formen ska fyllas. Man brukar ge ämnet en något större volym än formen så att man kan vara säker på att formen blir fullständigt fylld, överskottsmaterialet pressas ut utanför formen och bildar vad som kallas ett skägg vilket i en separat maskin klipps bort.

Om arbetsstycket ska få en komplicerat utseende med omväxlande tjocka och tunna delar samt mycket krökt form måste det pressas i flera steg. I samma smidesverktyg läggs då in flera formar smidet flyttas stegvis vidare. När smidet i en form är färdig flyttas arbetsstycket till nästa form i serien och smidet fortsätter.

Ett exempel på sänksmide finns i ett videoklipp som du hittar på https://brukshistoria.se/?page_id=336

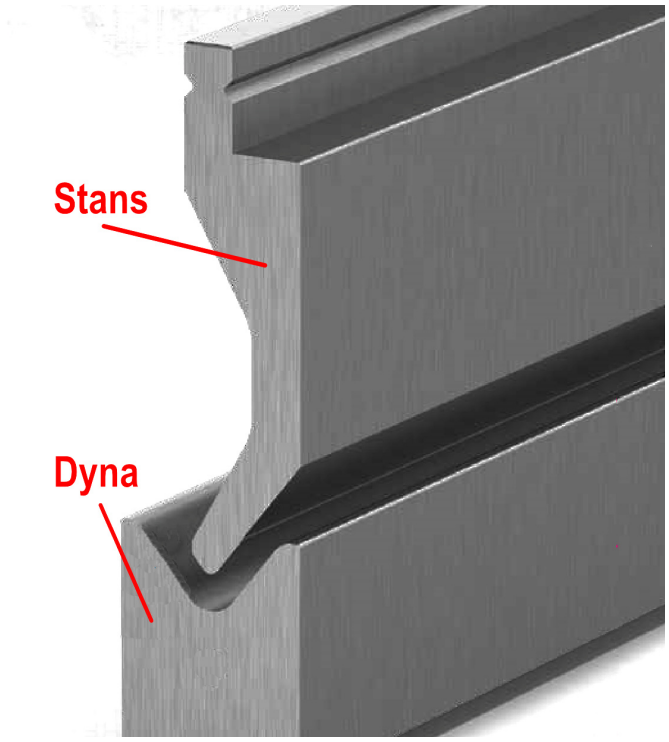
För sänksmidet brukar friktionsskruvpressar, excenterpressar och hydraulpressar användas. För information om olika presstyper se avsnittet ’Pressutrustningar’ på sidan 26.

Skiftnyckel som till större delen är tillverkad genom sänksmide. Foto Bahco.

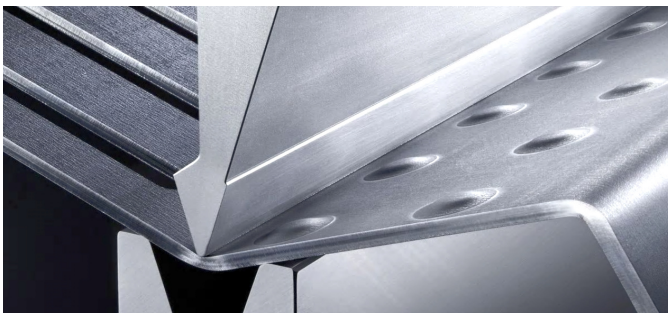
Samma teknik som sänksmide används också för att smida mjukare material än stål, exempelvis koppar och mässing. Då kallas metoden varmpressning. Då metallerna är kräver mindre kraft för att pressas behövs inte de kraftiga verktyg eller maskiner som smide av stål fordrar.

Många rörkopplingar, kranhus och anslutningar varmpressas framför allt i mässing och även i koppar och därför förses formverktyget med utdragbara dornar där det ska bli borrade hål i den färdiga detaljen. Detta för att minimera borrningsarbetet. Ena verktygshalvan på pressverktyget förses med utrustustning för att dra ut dornarna när arbetsstycket ska tas ut ur formen. Ofta görs sådana varmpressningar helautomatiska, heta metallkutsar plockas med en robotarm från ett magasin och placeras i formen, några slag slås med en press, formen öppnas och en skopa fångar upp detaljen när den stöts ur formen. Ett mycket rationellt tillverkningssätt.

Kantpressning



Tvärsnitt av stans och dyna till en kantpress.


Plåt som bockas i en kantpress. Foto Trumpf GmbH.

Kantpressar är de vanligaste maskinerna för att vika en plåt utefter en rät linje där vinkeln i vecket ligger mellan 25–30 grader och något mindre än 180 grader. 180 grader innebär plan plåt utan något veck. Önskas 0 graders vinkel måste man kant-pressa till den minsta möjliga vinkel kantpressen klarar av och sedan i ett separat moment pressa ihop vecket.

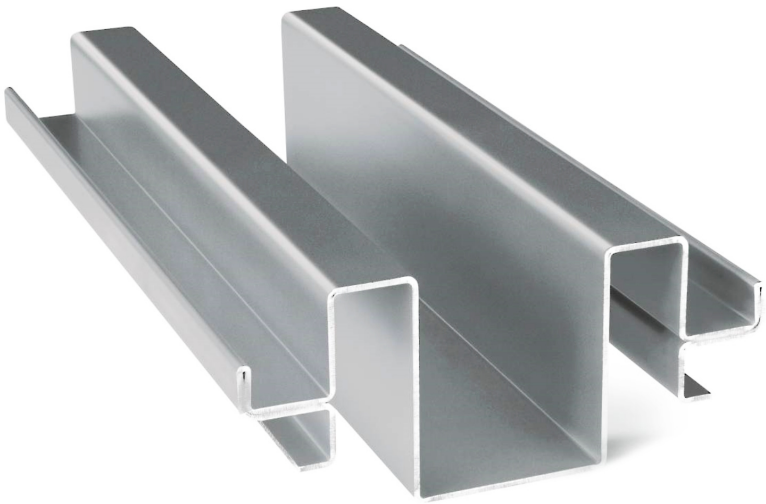
Pressen består en fast undre pressbalk på vilken det är fäst en dyna med ett V-format spår. Dynan kallas även underverktyget. Det finns en övre pressbalk som kan röras i vertikalled. I den övre balken är stansen, också kallad kniv, fastskruvad med spetsen rakt över dynans V-spårs mitt. Se bilderna till vänster. Den övre balken pressas ned och lyfts av en hydraulcylinder i vardera änden av balken. Balkarna måste vara höga och kraftiga så att de endast fjädrar undan mycket lite under pressning.

Om man läser pressfabrikanternas broschyer får man intrycket att pressar säljs i metervara. Pressar finns med presslängder (stansens och dynans längd) dryga metern till 6–8 meters presslängd. För normala kantpressar verkar det krävas 30–40 tons presskraft per meter presslängd. Det är inte det enda som avgör presskraften, tjockare plåt och smalare dynöppning kräver högre presskraft.

Bockning med de gamla, enklaste, kantpressarna sker helt manuellt, pressoperatören placerar en plåt på dynans övrkant och skjuter in plåten mot ett anslag. Anslaget kan flyttas med en skalförsedd ratt på pressens framsida. Sedan startar han pressbalk-ens och därmed stansens nedåtrörelse. När stansen träffar plåten kommer den att böjas runt spetsen på stansen medan plåten glider mot de rundade kanterna på dynans V-spår. Se den undre bilden. Operatören stoppar sedan stansens nedgående rörelse när han bedömer att rätt bockningsvinkel uppnåtts eller också kommer den nedåtgående rörelsen att stoppa när en förutbestämd sträcka gjorts. Då stansen inte slår i botten på dynan bestäms bockningsvinkeln endast av hur långt stansen trycks ned. Det gör att man kan få många olika bockningsvinklar utan att behöva byta verktyg, Detta sätt att bocka kallas fribockning eller luftbockning.

Kantpressar började användas omkring sekelskiftet och konstruerades då som skruvpressar och hade begränsade presskrafter vilket innebar att pressningen bara kunde göras på tunn plåt. Ungefär femtio år senare, under 1940-talet, började man använda hydraulcylindrar till kantpressar vilket innebar att presstrycket kunde ökas så att även grov plåt kunde bockas kall.

Tekniken utvecklades nu kontinuerligt utan stora tekniksprång, mättekniken förbättrades och styningen av stansen kunde ske med hundradels millimeters precision. Allt för att förbättra noggrannhet och likformighet hos de pressade detaljerna.



Exempel på en plät som pressats i flera operationer till en invecklad form. Bild från Bystronic Scandinavia.

Nu finns sedan många år CNC-styrda kantpressar och med datorn i styrsystemet följer stora möjligheter att göra pressningen av komplicerade detaljer snabbare och bättre.

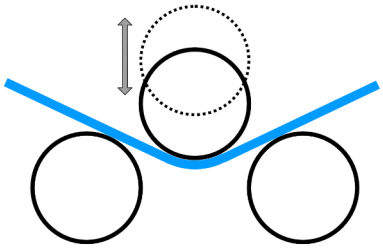
I pressprogrammet skall varje pressmoment beskrivas så att rätt anslaginställning och rätt pressdjup ställs in och operatören ges information om hur plåten ska vridas och vändas. Datorn används också för att med hjälp av plåtens tjocklek och materialegenskaper beräkna rätt inställning av anslag och pressdjup inför varje moment. Med precisa bockningsvinklar och rätt placering kan bockad plåt med exempelvis utseende som detaljen i bilden ovan ersätta ett bearbetat metallstycke till väsentligt lägre kostnad.

En medelstor CNC-kantpress. Foto LVD Scandinavia AB

Det är vanligt att man sätter upp flera stansverktyg och eventuellt dynor när man inte behöver hela maskinens presslängd. Exempelvis när man ska tillverka en låda behövs en stansbredd som är minst lika med lådans längd och med den viks båda långsidorna upp som ett U. När kortsidorna på lådan ska vikas upp måste stansens bredd vara något mindre än lådans innerbredd annars träffar långsidorna stansen och det blir bara bucklig plåt av alltihop. Därför monteras två stansar med ett passande avstånd mellan varandra och lådan kan pressas färdig genom att plåten flyttas till den smalare stansen utan att stansar behöver skruvas på och av. I bilden av CNC-kantpressen på föregående sida ser man, om man tittar noga efter, två monterade stansar.

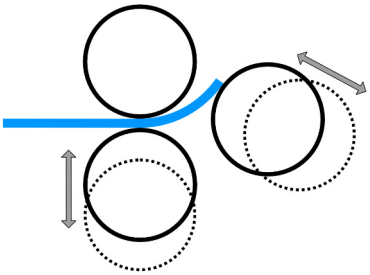
Rundbockning

Rundbockning är en teknik som används för att göra cylindrar av plåt men även kurvade plåtar. Plåten ges en krökt form genom att passera mellan tre roterande valsar. I den äldsta och enklaste form har rundbockmaskinen två fasta valsar och en rörlig, se figur A till höger. Plåten valsas fram och tillbaka medan de rörliga valsen pressas längre ned. När plåtändarna möts svetsas de samman och cylindern valsas rund i maskinen genom att körs runt flera varv.



Figur A. Rundbockning

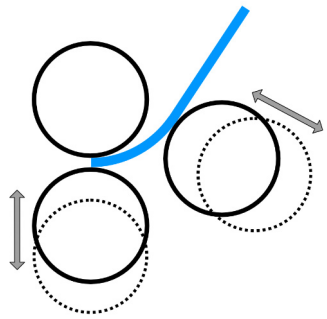
Ett stycke av plåten i vardera änden är plan och det tar ganska lång tid att valsa cylindern helt cirkulär efter svetsningen. Detta problem kan delvis undvikas genom att förbocka plåtändarna. Det kan göras genom upprepade små bockningar av plåtändarna i en kantpress eller att runda ändarna mot någon av valsarna i rundbockmaskinen med en hammare. Vilket sätt man än väljer är den här maskinen väldigt orationell och används sällan samt bara vid en- eller fåstyckstillverkning men maskinen är enkel och relativt billig.



Figur B. Steg 1. Rundbockning

Förbockning kan göras i en rundbockmaskin som har en asymetrisk uppbyggnad. Den har två rörliga valsar och en fast, se figur B till höger. I en sådan maskin börjar man med att sticka in plåten från vänster i skissen

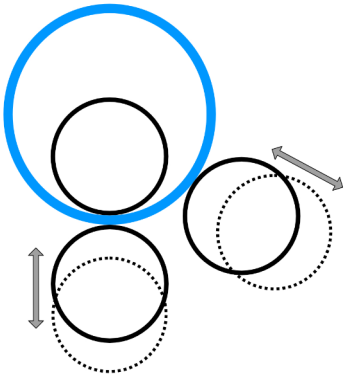
- skjut in plåten mellan de vänstra valsarna mot ett anslag
- höj den undre vänstra valsen till den pressas mot plåten
- för upp den högra valsen så plåten bockas vid änden (steg 1)
- för ner den högra valsen och mata fram plåten
- stoppa när plåtänden ligger mellan de vänstra valsarna
- för upp den högra valsen för förbockning andra änden (steg 2)
- för ner höger vals och backa plåten
- för upp höger vals för rätt bockningsradie
- valsa plåten framåt och nu ska ändarna mötas (steg 3).



Figur B. Steg 2. Rundbockning

De asymetriska maskiner har den fördelen att arbetsstycket är kvar i maskinen under hela bockningsoperationen. Man stoppar in en plåt och den tas ut fullt färdig. Den här maskinen med tre valsar har dock nackdelen att plåten valsas för mycket fram och tillbaka, det tar tid för rundbockmaskiner har ingen snabbspolning.

Ännu modernare rundbockmaskiner har gjorts än snabbare genom att montera en tredje rörlig vals på den asymetriska maskinen. Den valsen är placerad till vänster om de lodrätt liggande valsarna och gör det möjligt att göra förbockning även på vänster sida. Då körs plåten enbart framåt i maskinen



Figur B, steg 3. Rundbockning

Med fler samtidiga rörelser är det svårt att styra rundbockmaskinen manuellt och därför har de modernaste maskinerna försetts med CNC. Då ökar precisionen och en cylinder behöver inte svetsas och

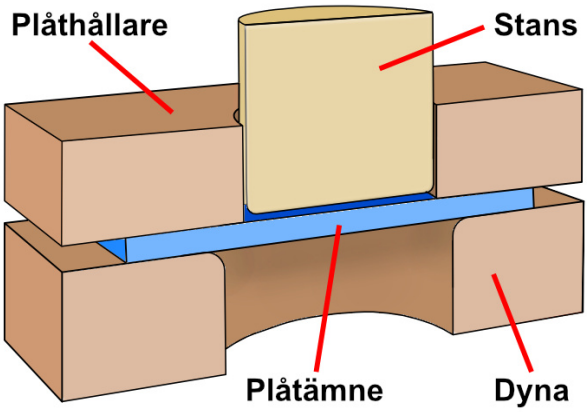
rullas i maskinen för att få cirkulär form. Om detaljen behöver svetsas kan detta göras på en svetsplats. Det har också blivit möjligt att bocka profiler som har olika bockningsradier på olika ställen av profilen. Det är möjligt att få elliptisk profil, till och med tre- och fyrkantiga profiler, dock med rundade hörn. En numera vanlig tillämpning är reflektorer i lysrörsarmaturer som matematiskt beräknats till konstiga former för att ge en jämn belysning inom det område de ska belysa.

Numera bockas icke slutna profiler helautomatiskt med hjälp av CNC-rundbockmaskiner, slutna profiler kräver ännu manuell hjälp. En gavel måste öppnas för att få ut röret som har bildats runt en av valsarna i maskinen.

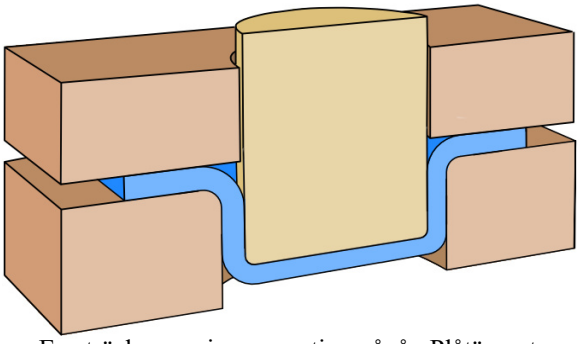
Dragpressning och sträckpressning

Dragpressning, kallas även djuppressning eller djupdragning, och sträckpressning är två metoder som används för att plastiskt forma plåtmaterial till skålformade föremål. Verktyget består av en stans, en dyna och en plåthållare och det placeras i dag vanligtvis i en hydraulpress men tidgare användes andra presstyper. Plåten formas efter stansens form genom att den får följa stansen genom hål i dynan.

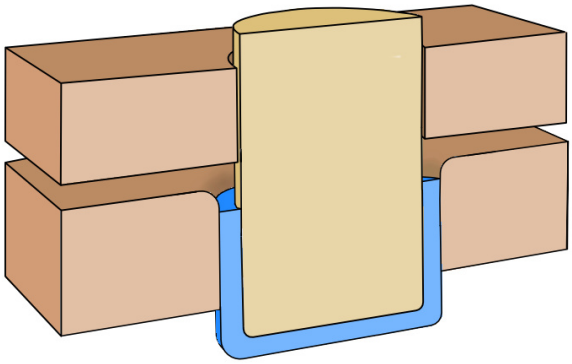
Plåthållarens funktion som skiljer dragpressning från sträckpressning. Vid sträckpressning trycks plåthållaren så hårt mot verktygets dyna att plåten ej kan röras under pressningen. Vid dragpressning är trycket på plåthållaren inte större än att plåten glider fram mellan plåthållare och dyna samt över dynans rundade kant. Dock ska trycket vara så stort att det inte bildas veck på plåten.



Ett snitt genom ett verktyg för drag- eller sträckpressning. Detta är det läge som stans, plåthållare och ämne har strax innan pressningen börjar. Plåthållaren följer stansen uppåt för att möjliggöra uttagning av den pressade plåten och inläggning av ett nytt plåtämne. Numera är det vanligast att använda en plockrobot som sköter hanteringen vid pressen, förr gjordes det manuellt med ganska stora risker för operatören.



En sträckpressningsoperation pågår. Plåtämnets yttre kant är fastlåst mellan plåthållaren och dynan. Plåten mellan dynans överkant och stansens underkant sträcks och blir allt tunnare ju längre stansen pressas nedåt,



En dragpressningsoperation pågår. Plåtämnets yttre kant har dragits med stansen ner i dynan. Eftersom plåten inte har sträckts så är plåttjockleken praktiskt taget oförändrad. Stansen förs längre ner innan den vänder så att koppen skrapas av mot dynan när stansen går upp igen.

Det är inte bara hattar och koppar som efterfrågas av verkstadsinuustrins kunder utan mer komplexa resultat av pressningen. Det krävs ofta många separata pressoperationer för att få detaljerna klara. Då gäller det att

inte sträcka för mycket på materialet i någan operation så att det bildas sprickor. Vidare ska smörjningen skötas så att inte material från plåten kladdar fast på dynans rundade kant, det förstör ytan på nästa detalj.

Bilden visar plåtämnet längst till vänster och den färdiga detaljen längst till höger samt samtliga formpressningar där emellan. Foto från Wikipedia.

Vissa detaljer ser vi dagligen runt omkring oss, diskbänken med sträckpressad diskho och vask samt pressade läskedrycksburkar av aluminium.

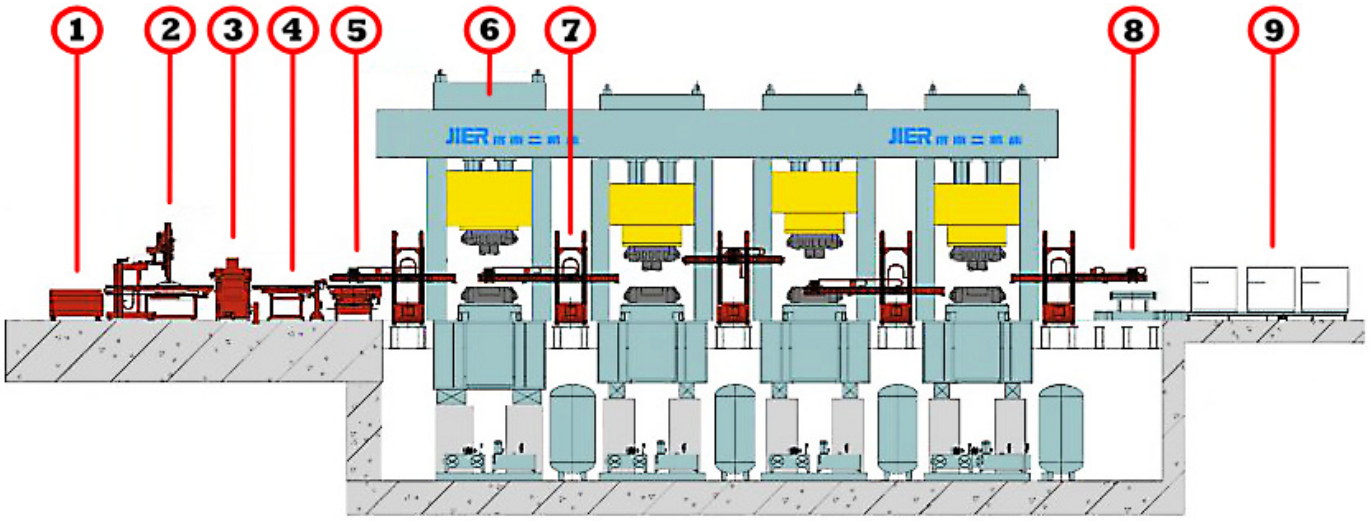
En ännu vanligare produkt är personbilar vars chassi och karosser till största delen består av pressad stålplåt. I bilens barndom formades karosseriplåtar för hand med en trämodell som riktmärke. Det tog lång tid och kostade mycket trots låga arbetarlöner. Stora biltillverkare producerade inte mer än några hundratal bilar per år. Omkring 1910 började bland andra Henry Ford att plåtpressa karosseri- och chassidelar som ingick i den legendariska Modell T. Under ungefär tjugo års tid producerades 15 miljoner T-fordar, absolut största delen under tio år efter det att första världskriget avslutades. Långt driven automation där plåtpressning ingick medförde ett lägre pris på bilarna. I början av 1930-talet hade plåtpresstekniken utvecklats så att större plåtar kunde pressas till mer rundade former i stället för T-fordens fyrkantighet.

Ford av Modell T. Foto Tekniska Museet.

Ford av 1939 års modell. Foto Tekniska Museet.

Automation är ett sätt att minska tillverkningskostnaden när stora partier ska produceras. Inom bilindustrin liksom vitvaruindustrin (tillverkare av elspisar, tvättmaskiner och kylskåp) är konkurrensen hård och produktpriset utgör ett av de viktigaste konkurrensmedlen. Därför utvecklas automationen starkt inom dessa brancher särskilt när det gäller tillverkningen av komponenter. Det har konstruerats så kallade ’Transfer Lines’ som består av en kedja av bearbetningsställen och arbetsstyckena förs automatiskt över från ett bearbetningsställe till nästa i kedjan. Inom plåtpressning kallar man en sådan automatiseringscell för en ’Transfer Press Line’. Den beteckningen är vanligast i Sverige men man kan också använda ’presslinje’. Där

står en rad hydraulpressar med en hanteringsrobot mellan var press och lyfter en pressad plåt från en press till nästa för ytterligare ett pressmoment. Antalet pressar i en pressline är inte bestämt, det beror på hur komplexa pressningar som ska göras och verkstadsföretagets ekonomi. Alla hydraulpressar har inte pressverktyg, det förekommer att någon eller några har klipp- eller stansverktyg.



En skiss av en presslinje (Transfer Press Line) med fyra hydraulpressar och fem hanteringsrobotar och en plockrobot. Plåtämnen går in i linen till vänster och kommer ut färdigpressade till höger. Skissen kommer från JIER Machine Tool Group i Kina.

1 Plåtämnen i trave
2 Hit plockas plåtämnen ett och ett
3 Rengöring och inoljning av plåten
4 Utmatning från rengöringen
5 Justering till rätt plåtposition
6 En av de fyra hydraulpressarna
7 En av fem hanteringsrobotar
8 Uppsamlingsplats för färdiga plåtar
9 Buntar av färdigpressade plåtar

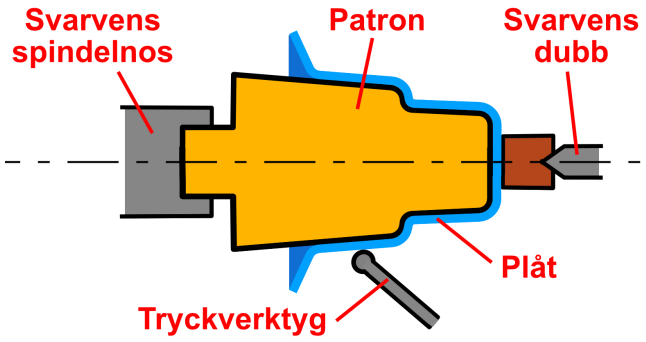
En presslinje med fem hydraulpressar. De gröna verktygen väntar att bli monterade i pressarna. Foto från Wikipedia.

Trycksvarvning

Trycksvarvning är en gammal metod för att plastiskt forma en plåt mot en rotationssymmetrisk matris i en svarv. Metoden kom till Sverige under 1840-talet, drygt 20 år efter den upptäckts, och användes då till de mjuka metallerna silver och tenn. Då utfördes trycksvarvningen rent manuellt i ganska enkla svarvar.

Matrisen och den mot matrisen fastklämda plåtskivan roterar snabbt medan plåten trycks mot matrisen med en stålstav eller ett stålhjul som roterar när det sätts an mot plåten. Matrisen kallas ofta tryckpatron eller bara patron.

Patroner kan tillverkas av hårt trä, särskilt om man ska trycksvarva mjuka metaller eller det är en liten serie som ska tillverka. Om man ska producera en större serie eller arbeta med hårt material, exempelvis stålplåt, är gjutjärnspatroner att föredra eftersom de tål bearbetningskrafterna bättre samt har en bättre slitstyrka. Det är oerhört mycket billigare att tillverka en patron till en trycksvarvning än att tillverka en verktygsuppsättning för sträckpressning vilket alltid gjort tryckssvarvning attraktiv vid små serier eller prototyptillverkning.



Snitt utefter svarvens rotarionsaxel vid trycksvarvning.

Patronen fästs i svarven spindelnos och plåten som ska formas kläms fast mot patronen med svarvens dubbdocka och dubb. Därefter startas svarven och plåten trycks med ett verktyg mot patronen med början närmast dubben med riktning mot spindelnosen. Genom att upprepa tryckning på ett område kan man transportera material i plåten från detta område och plåten blir där tunnare. Det är viktigt att smörja plåten så att den inte blir för varm, Smörjmedlet ska häfta starkt till plåten, bra exempel är bivax eller såpa. När plåten tryckts färdigt på patronen tas överblivet material bort med ett svarvstål.

Med kraftigare maskiner blev trycksvarvning under 1900-talet mycket använd för kastrulltillverkning då man trycksvarvade både aluminium och rostfritt (austenitiskt) stål. Då utnyttjades en av metodens fördelar att tunna ut plåten under svarvningen. En bra kastrull ska ha en tjock botten för att fördela värmen jämnt och tunna sidor för att göra kastrullen lätt.

Fortfarande gjordes trycksvarvning manuellt och metoden ansågs föråldrad i synnerhet när sträckpressning utvecklades. Alldeles i slutet av 1900-utvecklades speciella svarvar för trycksvarvning utrustade med CNC som gjorde det tunga manuella momentet automatiserades och det gjorde metoden attraktiv igen. Nu är det inte bara för enstyckstillverkning som metoden används, även seriestorlekar på något tusental årligen. Många plåtmaterial används, de vanligaste är aluminium, rostfritt stål, vanligt stål, mässing och koppar.

Ett videoklipp som visar en automatisk trycksvarvning finner du på https://brukshistoria.se/?page_id=359

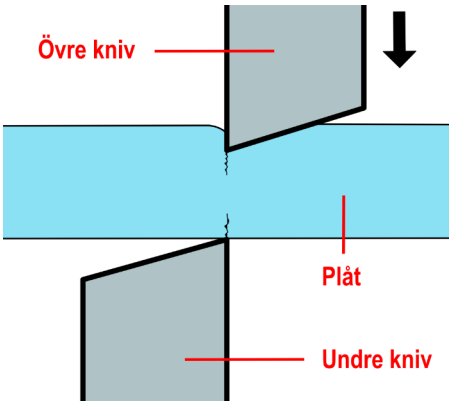
Styckavskiljande bearbetning

Med styckavskiljande bearbetning menar man, i varje fall när det rör metalllbearbetning, att stora styken av arbetsmaterialet skärs loss på en gång. Förr handlade om mekanisk bearbening som stansning, klippning och sågning. Gasskärning har tidigare inte fått tillhöra den här gruppen utan tagits upp i samband med svetsning men det har tillkommit ett flertal nya metoder plasma-, laser- och vattenskärning som också hör hit.

Klippning

För industriellt bruk finns utrustningar för klippning av metallplåt utefter en rät linje. De kallas för gradsaxar. De består av två knivar, en fast undre kniv på vilken plåten ligger och en övre kniv som rör sig neråt under klippningen.

När den övre kniven träffar plåten blir plåtytan först plastiskt deformerad och lite senare börjar kniven skära i plåten (mer korrekt är att säga att plåten skjuvas). Trycket på plåten gör att små sprickor uppstår vid båda skäreggarna. Sprickorna växer i längd och när de når varandra går plåten av.



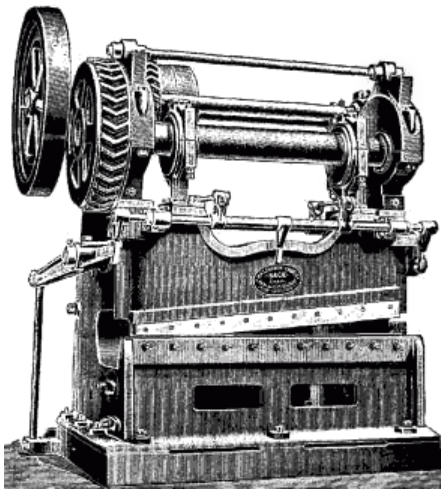
Skiss av klippningsoperation.

För att minska behovet av presskraft brukar man ofta att låta den övre kniven luta något i förhållande till den undre kniven. Denna lutning bör vara mindre än cirka 12 grader så att plåten inte riskerar glida under klippningen. Klippningen i gradsax fungerar ungefär som klippning med en hushållssax.

Det skall ochså finnas en spalt mellan den övre och under kniven. Bästa spaltstorlek avgörs av plåtmaterial, plåttjocklek och kraven på ytfinhet i klippsnittet. Mindre spalt ger finare yta och kräver högre presstryck. För stålplåt med 3 millimeters tjocklek är en spalt på 0,1 millimeter vanlig.

Moderna gradsaxar byggs upp med en hydraulcylinder i vardera änden av den balk som den övre knniven är fastsatt i, de har anslag för olika klipplängd som enkelt kan justeras från framsidan av saxen, de har kolvar som med hydraultryck låser fast plåten under klippningen och de har ibland en utdragbar låda som den avklippta plåtbiten ramlar ned i.

Äldre gradsaxar hade oftast en excenterpress för sin drivning.



Äldre gradsax med excenter. Den övre knivens lutning syns. Foto från Wikipedia

Modern gradsax. Det mesta är av säkerhetsskäl inbyggt. Det röda skyddet som döljer all insyn hindrar folk att klippa naglarna i saxen. Foto från Google bilder.

CNC-tekniken har också kommit till gradsaxarna. Med CNC kan man programstyrt ändra anslagens läge och vinklar så att klipplängd och vinklar på klippen ändras automatiskt mellan varje klipp. Det enda operatören behöver göra är att vända och vrida på plåten. CNC-systemet kan också ändra överknivens vinkel och klippspaltens storlek för olika plåttjocklekar och material, operatören gör detta från manöverpanelen.

Maskiner för rundklippning, även kallade rondellsaxar, är avsedda för utklippning av cirkelrunda plåtskivor så kallade plåtrondeller. De använder samma händelseförlopp som gradsaxar i själva klippområdet men knivarna är ersatta av hjul som är slipade som gradsaxarnas knivar. De klipper bara inom ett litet område där hjulen bara överlappar varandra med några millimeter och har en spalt på någon tiondels millimeter mellan varandra. Därmed kan de klippa i krökta banor. Hjulen drivs att rotera av en motor och friktionskraften drar in plåten under rullarna varvid plåten då klipps upp. Plåten kläms fast mot ett vridbart centrumstycke, rotationen av klipphjulen startas och hjulen pressas samman. Klipphjulen matar fram plåten och klipper samtidigt upp plåten efter en cirkelbåge. När hjulen gått efter hela periferin är rondellen klar.

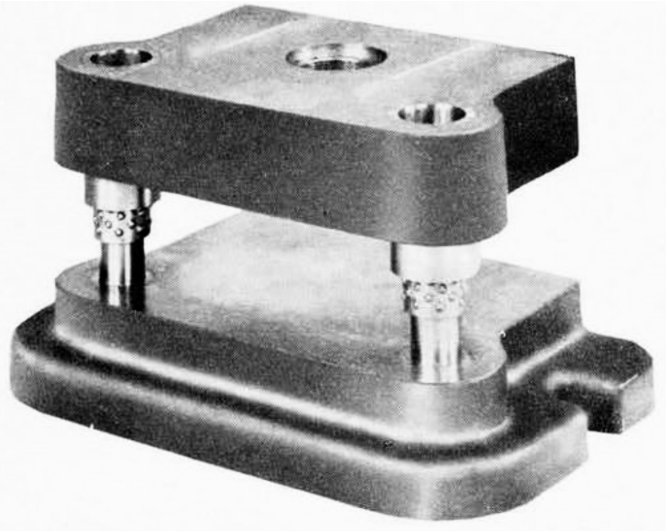
Maskinerna för rundklippning är billiga och metoden är pålitlig men den är mest lämpad för tunnare plåt. Det går åt mycket manuellt arbete och processen är långsam. Andra skärprocesser har tagit över rondelltillverkning.

Stansning

Stansning används för att göra hål i tunna material som papper, plast, läder och metallplåt. Mycket förenklat pressas en stans genom materialet och klipper ett hål mot kanterna på hålet i en dyna som stansen passar i. Både stansen och dynan har slipade kanter. Det enklaste åskådningsobjektet är ett hålslag som används för att göra hål i enstaka pappersark för att sättas in i en gaffelpärm.

Stansning av metallplåt är en kusin till klippning av plåt i gradsax som beskivs i föregående avsnitt. Skillnaden mellan bearbetningssätten är att gradsaxen klipper ett rakt snitt medan stansningen ger ett hål med en sluten snittlinje.

Hård stålplåt med tjocklek upp till ungefär 3 millimeter kan med framgång stansas medan mjuk stålplåt och aluminium- eller mässingplåt upp till 6 millimeters tjocklek kan stansas. På samma sätt som vid klippning måste det finnas en spalt mellan verktygsdelarna, vid stansning brukar avståndet mellan stansen och hålväggarna i dynan vara ungefär 0,1 till 0,2 millimeter. Ju mindre spalt desto finare yta i klippet men samtidigt blir det större slitage på verktygen och det ställs större krav på presskraft.



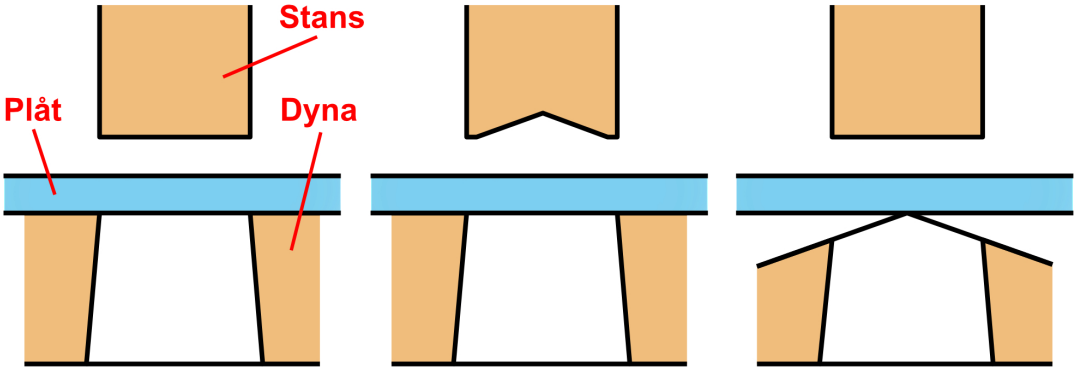
Pelarställ med kullagrad styrning.

Vid stansning i forna dagars pressar med ganska stora glapp i sidled monterades stans och tillhörande dyna i ett pelarställ där övre delen med stans med hjälp av en glappfri kullagrad styrning alltid är centrerad mitt i dynan. Hela pelarstället flyttas in i pressen och botten på pelarstället skruvas fast i pressens underdel.

Pelarställ används fortfarande vid enkel stansning i stora serier. Då kan enkla och billiga pressar användas.

Till exempel vid stansning av plana brickor som används under muttern i ett skruvförband och ibland under skruvhuvudet. Ett till synes oändligt plåtband på rulle matas fram stegvis till stansarna, i första operationen stansas hålet för skruven och i den andra stansas brickan ut.

Med en plan stans och plan yta på dynan sker klippet samtidigt utefter hela hålkonturen. Det kräver en stor presskraft. Bättre är att få klippet att ske en liten bit i taget precis som man klipper med en hushållssax. Det kan åstadkommas genom att antingen slipa ett V-format spår i stansens underkant eller att ge dynans yta en V-form. Kontrollera på hålslaget hur stansen ser ut, känn också vilken kraft som behövs för att göra hål.



Tre olika skisser över stansning. Längst till vänster är både stans och dyna plana. Här krävs den största presskraften men både utstansat stycke och plåten med hål är plana efter stansningen. I den mittre skissen visas ett V-format spår i stansen och plan dyna. Presskraften i detta fall är betydligt lägre än föregående fall. Här är plåten fortfarande plan men den utstansade delen är böjd i V-form efter stansningen. I den högra skissen har dynan en V-form, presskraften är lika låg som i föregående fall. Den utstansade delen blir plan men plåten får ett veck efter stansningen.

Målet för stansningen kan vara att skapa en utstansad bricka eller att göra ett hål i en plåt. Då kan man välja antingen V-formad dyna eller stans med V-spår. I sällsynta fall skall både bricka och plåten med hål användas och då måste man bita i det sura äpplet, valet blir då en kraftigare press.

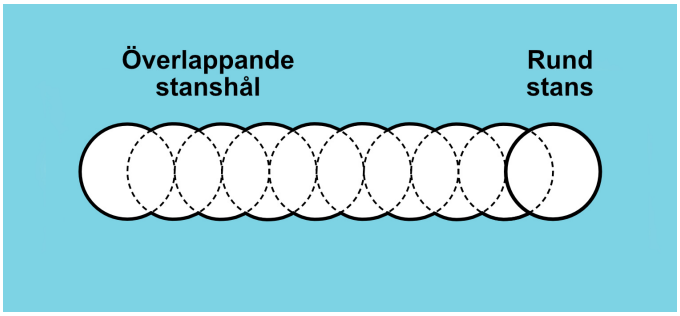
Stansning av hål i stålplåt började praktiseras i Sverige under slutet av 1800-talet och omkring sekelskiftet 1900 började tekniken användas mer allmänt i mekaniska verkstäder. Utvecklingen gick i lugn takt, pressarna gjordes större och kraftigare så man klarade stansning i allt tjockare plåt. Två tillämpningsområden var stora, helautomatisk stansning av brickor från plåtband samt manuell stansning av hål och urtag i plåtar.

I början av 1950-talet, start av en gyllene tid för verkstadsbranschen, ökade produkternas seriestorlekar vilket drev på en automatisering av de flesta manuella tillverkningsmoment. Fordonsindustrin som tillverkade tiotusentals nästan likadana bilar årligen formade allt större karosseriplåtar vilka blev omöjliga att hantera manuellt startade en stor utveckling av automatisering. Presslinjer byggdes, de innehöll inte bara formning av plåten utan det ingick även stansningsstationer. Med komplicerade stansningsverktyg tas flera tiotal olikformade hål upp i en plåt med ett enda slag. Den tekniken används fortfarande.

Alla verkstadsföretag hade inte lika stora serier och de fick vänta på automation till början av 1970-talet. Då kom NC-tekniken (lite senare CNC-tekniken) till plåtstansningen. En liten vagn låser en plåt till sig och flyttar plåten i två riktningar så den positioneras av styrsystemet till rätt ställe under stansverktyget som får slå ett slag. Positionerna anges som koordinater radvis i ett dataprogram och styrsystemet läser en rad, flyttar plåten till koordinaterna och slår ett slag med stansen innan det läser nästa rad och flyttar plåten osv.

CNC-stansar används inte bara för att slå enstaka hål utan också för nibbling. Det innebär att en, oftast rund, stans får slå överlappande hål så att det uppstår en sammanhängande öppning. Det utnyttjas för att för att göra öppningar i en plåt utan att en stans och dyna måste tillverkas för detta speciella hål. Nibblingen kan också användas för att klippa loss ett stycke av den bearbetade plåten.

I bearbetningsprogrammet anges endast start- och slutpunkt för nibblingen och steglängd mellan stansningarna, Stysystemet beräknar därefter automatiskt varje stansposition.



Principen för nibbling med en stans. I bilden stegas stansen fram med halva stansdiametern för varje slag, i verkligheten görs steglängden betydligt mindre.

Nibbling med runda stansar ger lite ojämn hålkant men ojämnheten minskar med större stansdiameter och kortare steglängd. Ofta är dock ojämnheten acceptabel. Ytterligare ett problem dyker upp vid nibbling med runda stansar. Det är omöjligt att göra ett invändigt hörn skarpt, det kräver en stans med fyrkantigt eller triangulärt tvärsnitt.

Mycket snart därefter kom CNC-stansar med programstyrbara karuseller med upp till 20–25 stycken stansar och tillhörande dynor. Det går att med programinstruktioner växla in stansverktyg med olika tvärsnitt och olika storlek. Vissa positioner i verktygskarusellen är även programstyrt vridbara.

Att stansa ett hål tar mycket kort tid men att nibbla en kontur är ganska tidsödande så man sökte metoder att ersätta nibblingen och det fann man i laserskärning. Se gärna avsnittet om laserskärning på sidan 22 för beskrivning och förklaring. När en laserskärutrustning monterades under huven på en stansmaskin blev man av med alla negativa konsekvenser med nibblingen och stansen kunde utrustas med i huvudsak bara cirkulära stansar av olika storlekar, resten av håltagningen sköter laserskärningen.

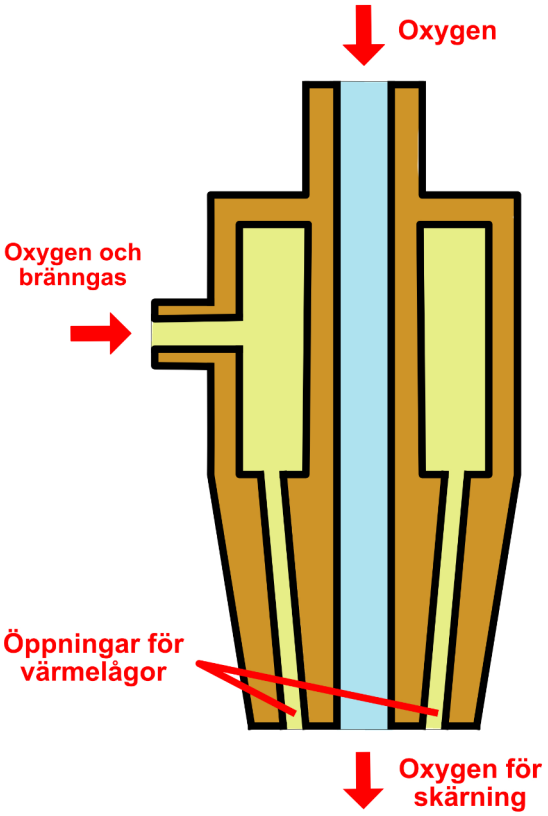
Det senaste inom området är den servoelektriska drivningen av stansrörelsen. En snabb reglerbar elmotor driver en kulmutterskruv som ger presskraften. Eftersom stansmaskiner för tunnare plåt (upp till 5–6 millimeter) inte behöver högre presskrafter än cirka 30 ton är en sådan lösning möjlig. När man med precision kan styra stansens nedpressning och då kan man göra en del plåtpressning i stans- och lasermaskinen. Pressning av gälar för ventilation, bulor som fungerar som fötter under plåtlådor, uppkragning (att vika upp en plåtkant) runt ett hål etc. Med en sådan stans- och lasermaskin och en liten kantpress kan man få ett helt plåtslageri att rymmas i garaget och ändå få rum med ett kaffebord där.

Gasskärning

I början av 1900-talet kom möjligheten att med hjälp av acetylen och syrgas skapa en låga som var het nog för att smälta stål. Då föddes gassvetsningen men också dess motsats gasskärning.

Gasskärning går ut på att man värmer upp en liten del av metallen till dess antändningstemperatur och sedan låter en kraftig sygasstråle dels underhålla förbränningen dels blåsa bort den smälta slaggen. Den slagg som bildas består till absolut största delen av metalloxider. Förs sedan syrgasmunstycket långsamt åt sidan uppstår ett snitt i metallen. I samband med svetsning och skärning har syrgas benämningen oxygen. Den leverers liksom acetylen i högtrycksflaskor av stål.

För att metoden ska lyckas krävs att:
- metallen kan brinna i oxygen
- metallen antändningstemperatur är lägre än metallens smältpunkt
- slaggens smältpunkt är lägre än metallens smältpunkt.



Genomskärning av munstycke för gasskärning,

Järn eller stål är en av få metaller (eller legeringar) som upppfyller de tre villkoren, antändningstemperatur cirka 1150 °C, rent järns smältpunkt cirka 1530 °C och järnoxidernas smältpunkt minst 1400 °C.

Alla stålsorter är inte möjliga att skära med gas. Höga kolhalter sänker smältpunkten. Vissa legeringsämnen ger oxider med för hög smältpunkt, bland andra krom och nickel vilket gör att för de rostfria stålsorterna får man använda andra skärmetoder. Kvar som möjliga att gasskära är stål med låg till måttlig kolhalt och låglegerade stål.

En maskin för gasskärning av plåt består av i allmänhet av ett större antal upprättstående pinnar att lägga plåten på och ett eller flera skärmunstycken på en rörlig ram ovanför plåten. Ramen flyttas maskinellt utefter två axlar och om den styrs av CNC kan den röra sig i godtyckliga kurvor. Om flera skärmunstycken används skär varje munstycke ut en kopia av den figur som beskrivs.

Skärmunstyken tillverkas av koppar för att kunna leda bort värmen effektivare och förkromas ofta för att skyddas bättre mot metallsprut och slagg. I spetsen på munstycket finns hål för värmelåga och utloppet för oxygenet som ska skära snittet i metallen. Oxygenet för skärningen passerar genom en rak, rätt lång och polerad kanal innan det lämnar munstycet för att gasstrålen skall vara turbulensfri. Virvlar i gasstrålen förstör ytan på snittet.

Som bränngas till värmelågorna används oftast acetylen men gasol är också vanlig. Acetylen ger en hetare låga vilket gör håltagning snabbare men den hetare lågan förstör snittkanten mer.

Skärning startas med att skärmunstycket hålls stilla över plåten och värmelågorna tänds. När en punkt rakt under munstycket blir vitglödande öppnas ventilen till skäroxygenet. Då borrar sig gasstrålen genom plåten och mtningsrörelsen slås på.

Metoden är bra och maskinerna billiga men det finns ett par väsentliga nackdelar. Gasskärning fungerar inte på så många metaller, exempelvis inte på höglegerade och rostfria stål samt aluminiun. Dessutom kan man inte förvänta sig höga skärhastigheter, endast omkring en halvmeter per minut i 10 millimeter tjock plåt.

Plasmaskärning

Plasma är inget ämne utan ett tillstånd hos gaser. En del gasatomer har joniserats, det vill säga tappat minst en elektron och blivit en jon med positiv elektrisk laddning. Det innebär att ett plasma kan leda elektrisk ström. Ju hetare plasmat är desto större andel atomer är joniserade och den elektriska ledningsförmåga blir bättre. Karaktäristiskt för ett plasma är att det lyser. Exempel på plasma är neonrör och blixtar i ett åskväder.

Plasmaskärning, som patenterades 1957, bygger på att en gasstråle med hög hastighet värms upp som plasma med elektrisk ström och riktas mot materialet som ska skäras. Plasmastrålen som har en temperatur av upp till 30 000 °C smälter materialet och smältan blåses bort av gasen. Alla metaller kan skäras med plasmaskärning. Plasmastrålen skapas genom en elektrisk ljusbåge mellan en elektrod i skärhuvudet och arbetsstycket. Det är i den i den ljusbågen plasmat får sin energi och höga temperatur. Det är många gaser som kan användas som plasmagaser, de inerta ädelgaserna argon och helium, den nästan inerta gasen nitrogen (ren kvävgas), oxygen (ren sygas), hydrogen (ren vätgas) och luft. Dessutom blandas ofta gaserna för de har olika verkan på arbetsstycken och elektroden i skärhuvudet.

I utvecklingen av skärmetoden började man blåsa en sekundärgas (kallas även skyddsgas) mot plasmastrålen. Den kyler ner ytan på plasmastrålen och gör strålens diameter mindre och mer energität. Ändå bättre resultat fick man om vatten sprutades vinkelrätt mot plasmastrålen.

Slisserna visar principen för skårhuvudetets uppbyggnad vid användning av sekundärgas respektive vattenbesprutning av plasmastrålen.

Skärhuvudet är mycket komplicerat uppbyggt på grund av de stora energimängder som transporteras genom det. Det mesta går naturligtvis till plasmat men en hel del blir värme som måste ledas bort från skärhuvudet. Plasmagasen för bort en del och det finns flera kanaler för kylvatten. Metalldelarna i huvudet är tillverkade av koppar för bättre värmeledningsförmåga.

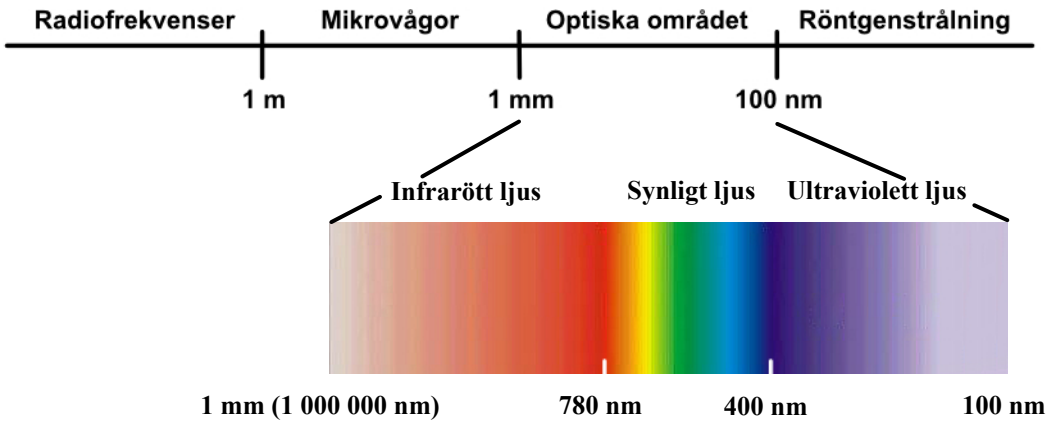
Typiskt utseende av en CNC-plasmaskärmaskin. Foto Devaes at English Wikipedia.

Under det fortsatta utvecklingsarbetet av plasmaskärning på 1990-talet fann man att rotation hos plasmagasen och även sekundärgasen gjorde plasmat ändå tunnare genom att plasmats periferi kyldes effektivare. Den så kallade finplasmametoden bygger helt och hållet på dessa utvecklinssteg med en tunnare plasmasträng som ger en mycket smalare spalt i materialet.

Plasmaskärningen är klart snabbare än gasskärningen, för 10 millimeter tjock plåt kan man räkna med skärhastigheter på 3 meter per minut vilket är ungefär sex gånger snabbare än gasskärning. Nackdelen är plasmaskäraren kostar några gånger mer än gasskärmaskinen.

Laserskärning

Ljus är en elektromagnetisk strålning liksom radiovågor, mikrovågor och röntgenstrålning. Strålningen är en vågrörelse som fortplantar sig i rummet och transporterar energi. Vad som skiljer de olika elektromagnetiska strålningarna från varandra är deras frekvens, i varje fall när det gäller radio- och mikrovågor. I fråga om ljus talar man hellre om våglängd, det blir så stora frekventalt att det är svårt att hålla reda på alla nollor. När det gäller röntgenstrålning anges strålningen av den energi i elektronvolt (eV) som en foton har. Högre energivärde för högre frekvens. Fotonen är den minsta odelbara mängd strålning (strålningkvantum) som skickas iväg.



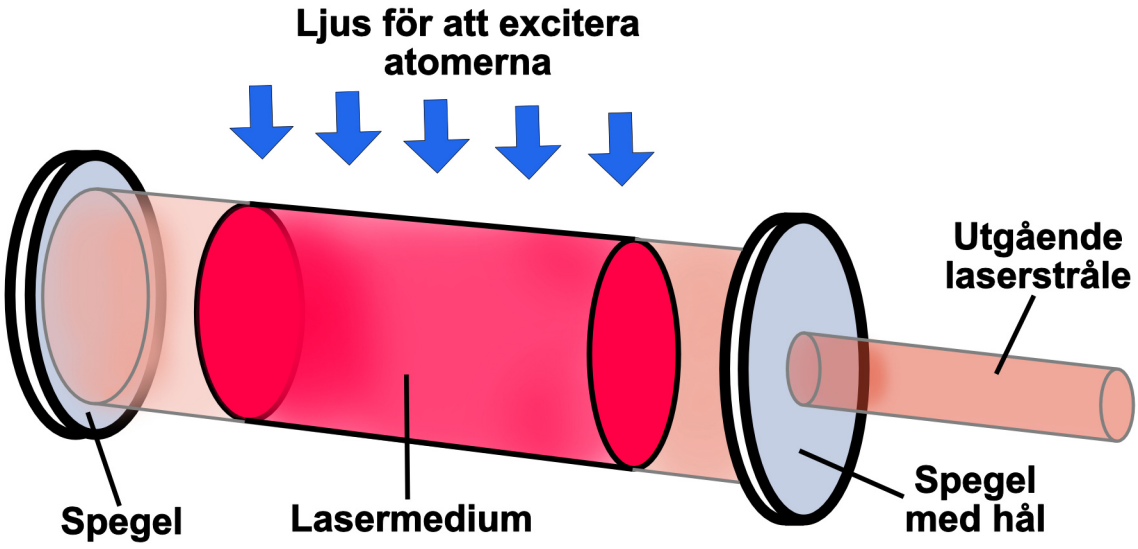
Våglängder och våglängdsområden för elektromagnetisk strålning. Observera att skalan är starkt olinjär och att 1 nm är en miljarddels meter. Dessutom är gränserna mellan områdena inte alls lika knivskarpa som diagrammet tycks visa. Det infraröda ljuset ser vi inte men vi kan känna det, det är helt enkelt värmestrålning. Visserligen kan vi också känna resultatet av det ultravioletta ljuset, men först dagen efter ett för långvarigt solande.

Laser är en förkortning som består av inledningsbokstäverna till det engelskspråkiga uttrycket ***L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation* med den svenska översättningen *ljusförstärkning genom stimulerad emission av strålning.* Laser började allmänt användas industriellt under 1980-talet.

Först lite teori om atomer och ljus. Om man skjuter en foton eller någon atomär patikel mot en atom kommer lite energi överföras till atomen om man träffar. Fotonen är den minsta ljusmängd som kan sändas ut. Chansen är inte så stor för atomen med kärna och elektroner består mest av tomrum. Vid träff så ökar atomen sin energi en smula, egentligen händer inte så mycket med atomkärnan utan det är elektroner som ökar sin energi. Elektronerna tar bara emot bestämda energimängder, olika för varje grundämne. Det är som att lyfta en vikt till nästa steg i en trappa. Lyfter man mindre än steghöjden händer ingenting, vikten stannar kvar på samma steg. Lyfter man exempelvis ett och ett halvt steg landar vikten likt förbaskat bara ett steg upp.

När elektronen har fått energitillskottet säger man att atomen exciterats men den har kommit i ett instabilt tillstånd och en liten stund senare skickar den spontant ut en foton med en energi (eller våglängd eller frekvens) som motsvarar den energi som elektronen lämnar. Då har atomen de-exciterats. Processen syns tydligt på natriumlampor, det är samma färg på ljuset oberoende av lampans ljusstyrka.

Om atomen träffas av en foton med energi som är lika stor som enerigskillnaden mellan exciterad atom och de-exciterad inträffar en intressant händelse, det sänds omedelbart ut två exakt lika fotoner åt samma håll.



En skiss av de viktigaste delarna i en laser.

Det centrala i lasern är lasermediat, flera gaser eller gasblandnigar kan användas och några kristaller. De första försöken med laser gjordes med en rubinkristall men den lämnar en låg uteffekt.

För industriändamål med krav på hög uteffekt på flera kW har koldioxidlasern (CO_2-lasern) varit vanligast för skärning och svetsning. Den använder en gasblandning som lasermedium vanligtvis med omkring 10-20 % koldioid, 10-20 % kvävgas, några % vätgas och resten helium. CO_2-lasern sänder ut laserljus med våglängd av antingen 1060 nm eller 960 nm och dessa ligger i det infraröda området.

En annan lasertyp som använts är Nd-YAG-lasern men den är ovanligare än CO_2-lasern. Det är en kristall yttrium och aluminium med granat-struktur som lämnar en strålning med 1064 nm våglängd och således ligger inom det infraröda området.

Lasermediet belyses med kraftigt ljus som lämnas av lysrör, blixtrör eller kraftfulla laserdioder för att hålla ett stort antal atomer exciterade. Det kallas för att pumpa lasern. Ljuseffekten i den utgående laserstrålen är cirka 10 % av den ljuseffekt man pumpar med. Lamporna som man pumpar med avger mychet värme så att högeffektlasrar brukar vara vattenkylda.

Utanför lasermediet placeras två parallella speglar som får fotoner som skapas i lasermediet att studsa ett otal gånger mellan speglarna och samtidigt passera genom mediet. Det är då ljusförstärkningen uppstår, vid varje kollision mellan en foton och en exciterad atom erhålls en extra foton. Avståndet mellan speglarna skall vara ett antal halva våglängder av laserljuset. Utrymmet mellan speglarna kallas laserns kavitet, på engelska är beteckningen resonator.

En av speglarna har ett hål i försilvringen varvid en del av fotonerna som studsar mellan speglarna tränger ut. Det utgör laserstrålen som ska användas. Ljuset har bara en våglängd, strålarna svänger i samma takt och ljusspridningen är mycket liten. En stråle som är ett par centimeter i diameter är på 20 kilometers avstånd inte större än en meter.

Den senaste moderniteten är fiberlasern där en optisk fiber dopad med någon av de sällsynta jordartsmetallerna exempelvis erbium, ytterbium eller neodym utgör lasermediet. Laserljuset går i fiberns kärna och pumpljuset leds i ett lager runt kärnan. Pumpningen sköts av en eller flera laserdioder. Fiberlasern har verkligen framtiden för sig eftersom den har mindre dimensioner och tål vibrationer bättre än andra lasertyper. Den har bättre verkningsgrad än tidigare typer, upp till 20-30 %. Det är i få situationer man nu behöver en CO_2-laser framför en fiberlaser.

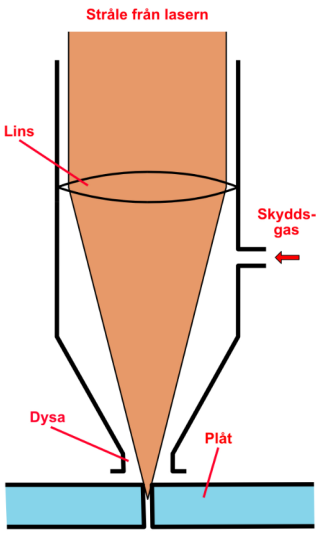
En laserskärmaskin består av en laser, ett skärhuvud och en rörelseapparat som rör skärhuvudet relativt plåten som ska beabetas. Nästan alla skärmaskiner är idag utrustade med CNC och kan skära efter vilka kurvor som helst. Till en början medan man bara hade tillgång till svaga lasrar kunde bara tunnplåt skäras. Då var det lättare att flytta plåten och använda en fast laser med ett fast skärhuvud. Senare fick lasrar höga uteffekter och förmåga skära i grov plåt som då blev mycket tung, alltför tung att flytta med höga hastigheter. Då kom lösningen med fiberlasrar, mindre, lättare och okänsligare för vibrationer än de tidigare lasertyperna.

Skärenheten placeras rörlig på en brygga som i sin tur kan rulla i den vinkelräta riktningen. Då blev det också möjligt att arbeta med större plåtdimensioner.

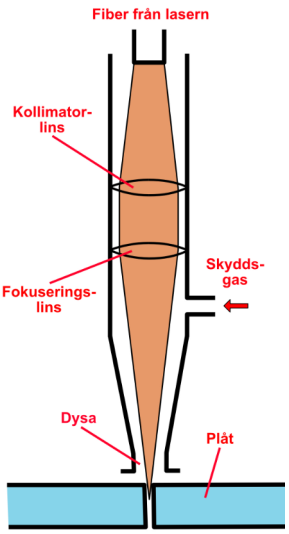
Idag är det lätt att tillverka en egen laserskärmaskin eftersom man kan köpa färdiga komponenter som enkelt kan sättas ihop till en färdig maskin. Många asiatiska tillverkare säljer alldeles egna maskiner.

Fiberlaserskärmaskin, den saknar här skydd mot läckande IR-strålning men då syns det bättre hur maskinen är uppbyggd. Foto från Google bilder.

I skärhuvdet finns en lins som laserstrålen inriktas mot. Linsen fokuserar strålen till en liten punkt mot plåtytan, punkten brukar vara någon eller ett par tiondels millimeter stor. Hela strålens värmeeffekt koncentreras på en mycket liten punkt. Det blir ungefär som att trycka samman köksspisens stekplatta på högsta effekt till samma lilla punkt. Metallen i plåten kommer nästan omedelbert att inte bara smälta utan den förångas också men ändå sprids inte mycket värme till plåten vid sidan av snittet för att det heta området är så litet. Snittet i plåten får en bredd som är något större än fokuspunkten, i storleksordningen 0,3 mm. Snittytan blir väldigt fin och kan oftast duga utan någon efterbearbetning.



Skärhuvud för en CO_2-laser.



Skärhuvud för en fiberlaser.

I skärmaskiner med CO_2-laser har strålen från lasern en stor diameter och den fokuseringslins som koncentrerar laserljuset mot plåten har också en stor diameter. Linser tillverkas av kvarts eller kristaller av zinkselenid (ZnSe) och materialen är svåra att bearbeta. Därför är linserna dyra.

Skärhuvuden till fiberlasrar är mindre eftersom laserstrålen som lämnar en optisk fiber är mycket smalare. Tyvärr sprids laserstrålen lite när den lämnar fibern så det behövs en kollimatorlins som gör strålknippet parallellt. Sedan finns en fokuseringslins som hos en CO_2-laser.

I båda skärhuvudtyperna blåser man in skyddsgas. Den har ingen större betydelse för skärprocessen utan har främst till uppgift att blåsa bort metallstänk och metallrök som kan förorena linsytor samt att se till att hålla skärområdet fritt från förångad metall som annars sprider laserstrålen.

En CO_2-laser kan med framgång användas på stålplåt upp till 50 millimeters tjocklek medan fiberlaser nu klarar av 30 millimeter men det är en fråga om effekten hos lasern och snart kommer nog fiberlasern i fatt. Plåttjockleken har stor betydelse och laserskärning i 10 millimeters stålplät görs nu med hastigheter omkring 2 meter per minut medan 1–2 millimeters plåt går med 30–40 meter per minut. Laserskärning kan göras i de flesta material, metaller, plastmaterial. kompositmaterial, trä och så vidare.

Lågeffektslasrar har fått stor användning inom verkstadsindustrin för märkning av detaljer, komponenter och produkter. Kvalitetsnormer, ordning och reda samt spårbarhet kräver en märkning som inte försvinner så lätt. Med en lågeffektslaser hanterad som ett handverktyg brännes nummer och namn samt annan data in i det yttersta ytskiktet på metallföremål och plastdetaljen på ett mycket behändigt sätt, bättre än klisteretiketter.

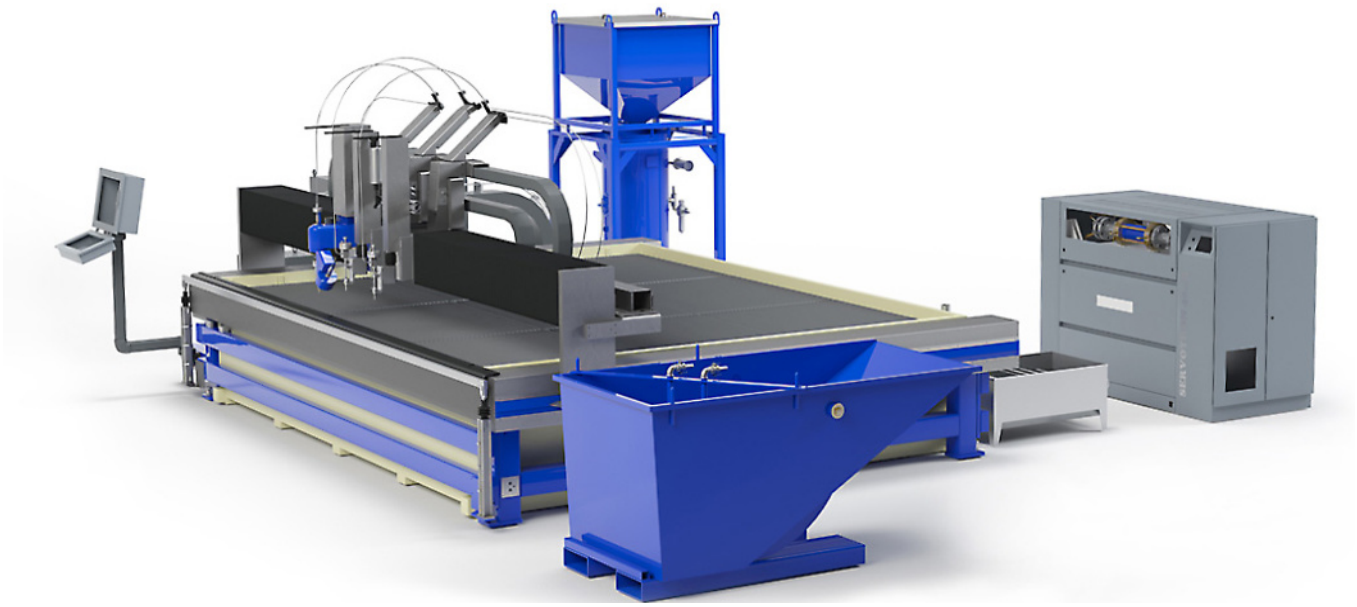
Vattenskärning

Att skära med hjälp av en vattenstråle med mycket hög vattenhastighet som ligger omkring dubbla ljudhastigheten (knappt 700 meter per sekund). Det är lika snabbt som en gevärskula. Det krävs ett högt vattentryck för att få denna höga vattenhastighet. De pumpar som driver vattenskärmaskiner lämnar normalt ett tryck omkring 4 000 bar eller mer. Som jämförelse kan nämnas att vattentrycket i vårt normala kranvatten brukar hålla sig omkring 2–3 bar.

Vattnet trycks ut genom ett rör, så långt att vattnet kommer ut som en sammanhållen stråle och inte som en dusch. Vattenstrålen diameter brukar vara omkring 0,1 till 1,5 millimeter. Med renvattenskärning, endast vatten i strålen, kan man skära mjuka material som gummi, mjukplast, textilier, trä och matvaror.

För hårda material som stål och andra metaller. särskilt titan, kompositmaterial, keramik, glas och sten blandas sand in i vattenstrålen som då slipar sig fram genom materialet. Sanden blandas in i vattnet i skärhuvudet. Det kallas för abrasiv vattenskärning och kommer från det engelska ordet abrasion som i det här fallet kan översättas med slipning.

I material med tjocklek mindre än 10 millimeter är vattenskärning långsammare än laserskärning men i grövre material är det tvärt om. Vid den övre gränsen idag för vattenskärning 300 millimeters stålplåt har vattenskärning egentligen ingen konkurrent. Mycket talar för vattenskärning, den ger en fin snittyta som normalt inte behöver efterbearbetas, den värmer inte upp materialet, den skaper inga spänningar och mikrosprickor och den avger inga hälsovådliga gaser men den för ett ordentligt oväsen, något som emellertid inte märks på de färdiga arbetsstyckena.



En CNC vattenskärmaskin tillverkad av Water Jet Sweden i Ronneby. Till höger om skärmaskinen står högtryckspumpen och mitt i bild bakom maskinen sandbehållaren. Foto Water Jet Sweden.

Tekniken att skära med en vattenstråle är inte så gammal, bara ungefär trettio år. CNC var fullt utvecklad när de första skärmaskinerna för vattenstråle togs fram så praktiskt taget alla skärmaskiner är CNC-styrda. Från början var de avsedda enbart som plåtbearbetningsmaskiner för rörelse i två vinkelräta axelriktningar. De kunde skära plåt i godtyckliga kurvor när man simultant körde axlarna i olika hastigheter. Raka skär utmed axelriktningarna, sneda skär, cirkulära kurvbågar och elliptiska kurvbågar men alla kurvor låg i plåtens plan.

Mycket vill ha mer sägs det. Det uppstod behov att kunna luta skärhuvudet i två riktningar samt ändra skärhuvudets höjd över bordsytan. Med mer kraftfulla datorer i CNC-systemet kunde dessa tillkommande tre rörelseriktningar, som man också kallar axlar, köra i samverkan med de ursprungliga två. Maskinerna kallas femaxliga och kan med munstycket föras i godtyckliga kurvor i rymden. Dessutom kan skärriktninen, det vill säga vattenstrålen riktning, ändras inom ett stort område. Sådana maskiner kallas även 3D-skärmaskiner.

Pressutrustningar

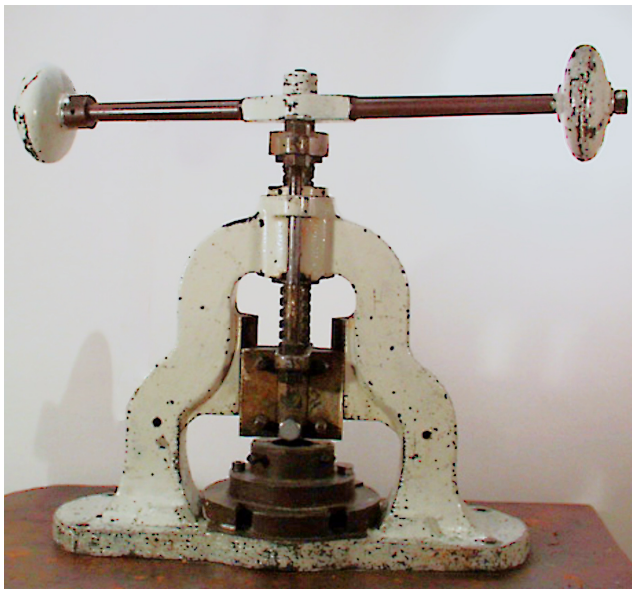
Många bearbetningsmoment inom verkstadsindustrin kräver stora krafter, exempelvis smide, stansning och olika pressningsoperationer. Genom tiderna har det använts många olika presskonstruktioner. För smidet fanns sedan mycket länge en lösning, ett hammarstycke lyftes upp med hjälp av ett vattenhjul och fick sedan falla fritt mot arbetsstycket. Kraften skapades när hammarstycket bromsades av arbetsstycket och ju tyngre hammarstycke desto större kraft plattade till arbetsstycket. De största vattenhjulsdrivna hammarna, mumblingshammarna, hade hammarstycken som vägde upp till 7–8 ton.

De ersattes i verkstäderna av ånghammare där hejaren som hammarstycket kallades lyftes med trycket från vattenånga. Hejaren var fastsatt i en kolvstång till en kolv som löpte i en fast cylinder. Då ånga släpptes i cylindern under kolven lyftes hejaren och när ångan släpptes ut föll hejaren. Man kunde också fylla cylindern ovanför kolven med ånga för att ytterligare öka hejarens hastighet neråt. Bild på ånghammare på sida 7.

Samma typ som ånghammare drevs med tryckluft när luftkompressorer för höga tryck och högre luftkapacitet fanns tillgängliga. De hammarna kallades följaktligen för trycklufthammare.

Skruvpressar

Långt långt innan mekaniska verkstäder existerade användes skruvpressar. De var då handdrivna och brukades för att pressa olja ur oliver eller pressa vattnet ur handtillverkade pappersark.



En handdriven skruvpress från slutet av1800-talet för prägling och dylikt. Foto Upplandsmuseet.

Skruvpressar har en presstomme med en mutter längst upp och en skruv som skruvas genom muttern pressar mot presstommens nedre del där dynan fästs. Skruven och muttern är plattgängade för att minska friktionen mellan skruv och mutter. Plattgängor har gängflanker som är vinkelräta mot skruvaxeln.

Pressar med manuell drivning var redan från början olämpliga eftersom de är både långsamma och tunga att hantera.

En liten bit in på 1900-talet kom utvecklade skruvpressar med motordrift. De var försedda med friktionskoppling mellan motor och presskruv för att förhindra haverier på verktyg och press. Därav fick presstypen namnet friktionsskruvpress.

En motor eller en centraltransmission drev två skivor som kunde förskjutas lite i axialled. I övre änden av presskruven satt ett stort hjul placerat mellan de motordrivna skivorna. Hjulet hade omkretsen klätt med en läderrem och hade i ett mellanläge ingen kontakt med någon av de båda skivorna. Fördes skivpaketet åt ena sidan fick en av skivorna kontakt med det stora hjulet och presskruven vreds åt ett håll. Fördes skivpaketet åt det andra hållet fick den andra skivan kontakt med hjulet och presskruven vreds åt motsatt håll. Detta var således pressens manövrering stans upp och ned och en stillastående stans i mittläget.

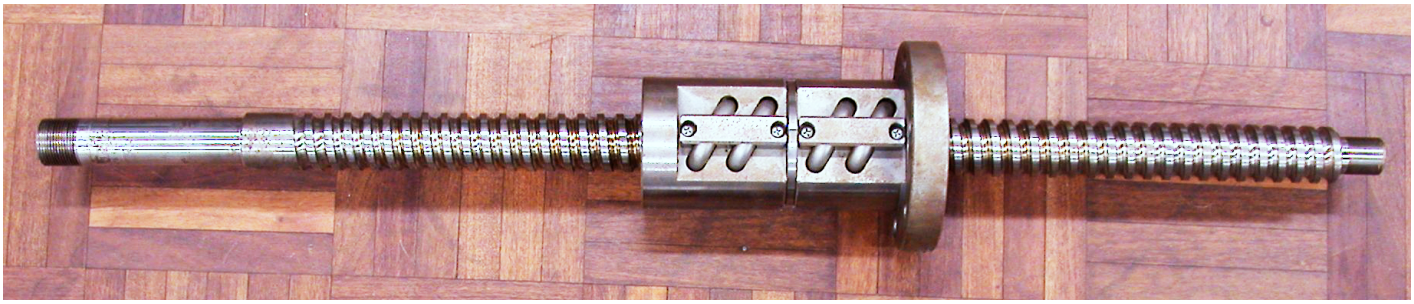
Presstypen var mycket använd för lättare pressarbeten, maximalt rörde sig runt 10 ton. Friktionsskruvpressar var svåra att automatisera men de var använda så sent som på 1980-talet exempelvis till varmpressning av mässing och koppar. Slaglängden var lång så det fanns gott om utrymme att lägga in kutsen i verktyget.

Friktionsskruvpress tillverkad i slutet av 1930-talet. Foto Munktellmuseet, Eskilstuna.

Friktionsskruvpressarna blev så småningom utkonkurrerade av snabbare pressar (excenterpressar) och kraftigare (hydraulpressar) och har hamnat på museum. Pressen på bilden ovan står dock uppställd i en hotellmatsal.

De senaste åren har skruvpressar fått en renässans. Skruven har ersatts med en kulmutterskruv som drivs servoelektriskt. Det vill säga skruven drivs av en elmotor som är lätt att reglera och kan ge mycket stora vridmoment. Den accelererar mycket fort och kan likaledes bromsas mycket fort. En kulmutterskruv har inte gängor i vanlig bemärkelse och inte heller muttern utan bägge har ett slipat runt spår som går i spiral med samma stigning. Kullagerkulor rullar i spåren mellan skruv och mutter. För att inte kullagerkulorna skall ta slut mellan mutter och skruv finns en kanal från muttern sista spår till det första där kulor som blivit över återförs.

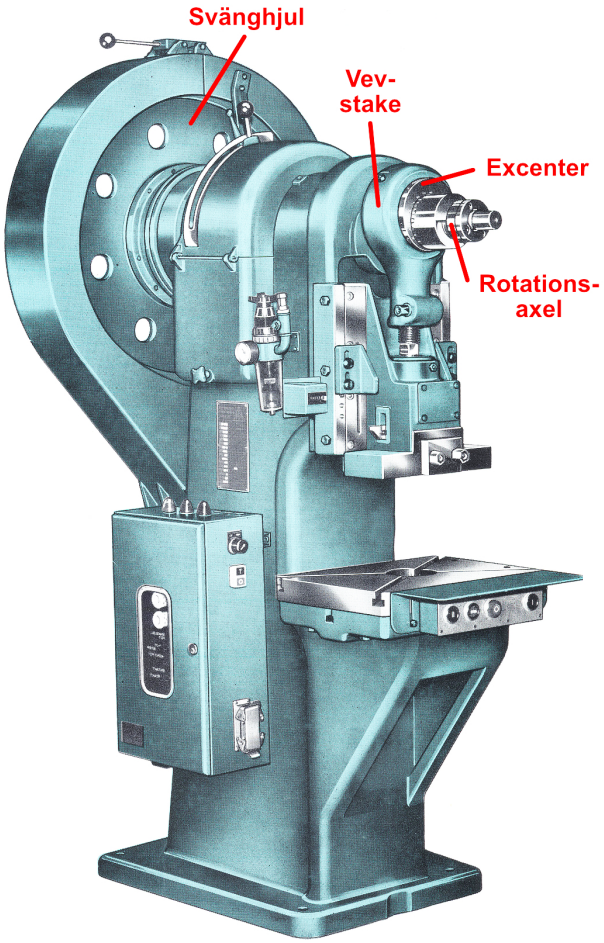
Detta är en skruv-mutter-kombination som är glappfri, har mycket låg friktion och ändå tål axialbelastningar. För övrigt används den här kombinationen av skruv och motor till axelrörelserna i de flesta CNC-maskinerna. Det är då möjligt att positionera stansen noggrant i höjdled och att forma plåten med vulster, veck och utpressningar. Pressar med servoelektrisk stans har blivit snabbare än sina konkurrenter. De skruvar som sätts in som presselement tål upp till cirka 30 ton presskraft vilket gott och väl räcker till för tunnare plåt.



Kulmutterskruv med skruv och mutter. På muttern syns fyra rör som skapar kedjor av kulor som rullar mellan skruvens och mutterns gängspår. Foto från Wikipedia.

Excenterpress

Omvandling från rotation till en fram- och återgående rörelse som excenterpressar använder växte fram redan under 1780-talet i England. En skotsk ingenjör, William Murdoch, arbetade tillsammans med James Watt för att utveckla ångmaskiner. Med en excentriskt monterat hjul på ångmaskinens utgångsaxel skapades den fram- och återgående rörelsen som slidventilen behövde för att sköta ångtillförseln till cylindern. Mer än 50 år senare utvecklades stansmaskiner för mekaniska verkstäder med samma typ av drivning.



En excenterpress från den tid då man inte byggde in pressarna i stora plåtlådor. Denna press är gissningsvis från slutet av 1970-talet. Foto från Wikipedia.

Excenterpressar består av ett kraftigt stativ, för mindre pressar ofta i form av ett C för att pressverktyget ska vara lättåtkomligt. Vidare är pressens rotatinsaxel lagrad i stativet med kraftiga lager samt ett svänghjul som via en el- eller tryckluftstyrd koppling kan kopplas in på eller kopplas fri från rotationsaxeln. Fastsatt på axeln sitter excentern, en tjock rund platta med sitt centrum liggande utanför axelcentrum. Plattan ligger excentriskt i förhållande till axeln. På excenterplattans kant är en vevstake lagrad och den sköter pressens upp- och nedåtgående rörelse. Stort presstryck nås nära undre dödläget.

Allt detta skulle kunna skötas av en vevaxel med vevstake något som också gjordes på några av de tidigaste pressarna. Det fungerar bara på pressar men mycket liten presskraft. Hela presskraften belastar vevstakslagringen, rotationsaxellagringarna och rotationsaxeln själv. Med moderna presskrafter på tiotals och hundratals ton måste alla lager ha stora ytor och rotationsaxeln vara mycket motståndskraftig mot böjning. Så en rak axel och excenterskiva är det enda rätta. De allra största pressarna kan inte heller använda C-formade stativ utan byggs upp med med en pelare i varje hörn av en rektangel och med pressmaskineriet i centrum.

Svänghjulet som roterar och drivs av en liten motor. I princip behöver den bara driva svänghjulet i tomgång för att svänghjulet lämnar endast någon större energimängd när pressen är nära det nedre ändläget och arbetsstycket gör motstånd och presstrycket är stort.

I normalläget önskar man endast slå ett eller högst ett par slag med pressen. Därför ska utlösningen av slaget starta med att svänghjulet kopplas in på rotationsaxeln vid startsignal och sedan tar automatiken över. Svänghjulet kopplas ifrån rotationsaxeln strax innan det övre dödläget nås, rotationsaxeln bromsas och pressen blir klar för nästa startsignal.

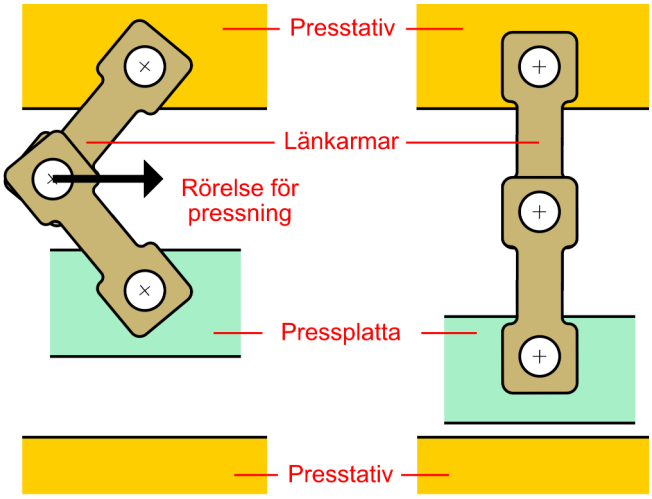
Excenterpressning har i allmänhet ersatts av andra tillverkningssätt, olika skärmetoder erbjuder fördelar. Det finns fortfarande kvar användningsområden för excenterpressar, exempelvis stansning av runda brickor och ämnen samt formpressning. Formsmide är ett område för stora excenterpressar med presskrafter upp till ett par tusen ton. Den största excenterpressen har en presskraft av sexton tusen ton.

Knäledspress

En knäledspress är uppbyggd av två länkarmar som är ihopsatta med en lagring och de ihopkopplade länkarmarna är i övre änden rörligt fastsatta i presstativet, den undre delen i pressens stanshållare. Pressen manövreras genom att få de hopvikta länkarmarna att räta ut sig. Precis som för excenterpressen växer presskraften till sitt största värde när stansen närmar sig det undre vändläget

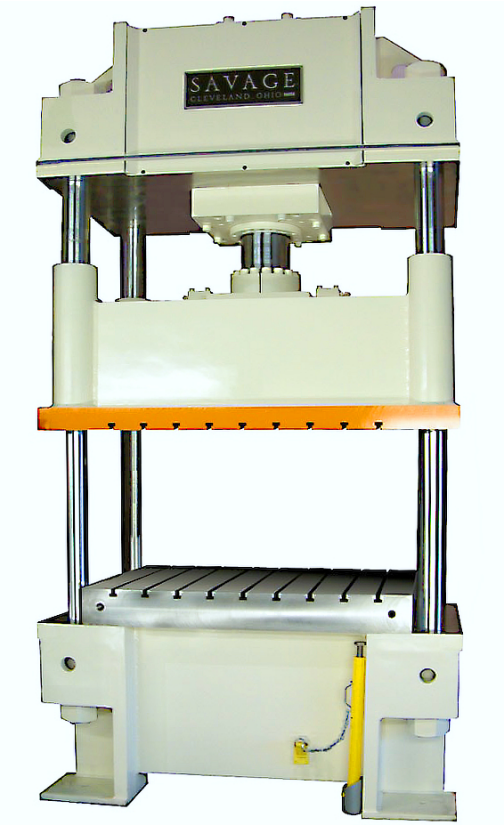
Knäledspressar finns i nästan alla storlekar, de är enkla i sin konstruktion kan göras billigt. De minsta har bara en enkel tryckluftcylinder eller rent av en hävarm för att manövrera pressen. Större pressar har ofta en driftmekanism som består av vevaxel och vevstake.

Små knäledspressar används vid monterin av presspassningar, exempelvis när ett kullager ska monteras på en axel. Mycket stora knäledspressar används liksom excenterpressar som smidespressar vid sänksmide. De pressarna har ofta presskrafter på några tusen ton.



Principen för en knäledspress. På bilden till vänster är pressen öppen och klar för pressning, bilden till höger visar pressen vid slutet av pressningen.

Hydraulpressar



Typisk uppbyggnad av en hydraulpress med 150 tons presskraft. Bild från Wikipedia.

Hydraulpressar är inga märkvärdiga konstruktioner, ett bottenstycke och fyra pelare som håller upp ett överstycke som bär upp en stor hydraulcylinder med en nedåtriktad kolvstång. Mindre hydraulpressar med små presskrafter har dock ofta endast två pelare.

Kolvstången kan leverera samma höga presskraft under hela vägen mot bottenplattan. Presskraften är endast beroende av kolvytan i presscylindern och det hydrauloljetryck pumpen levererar.

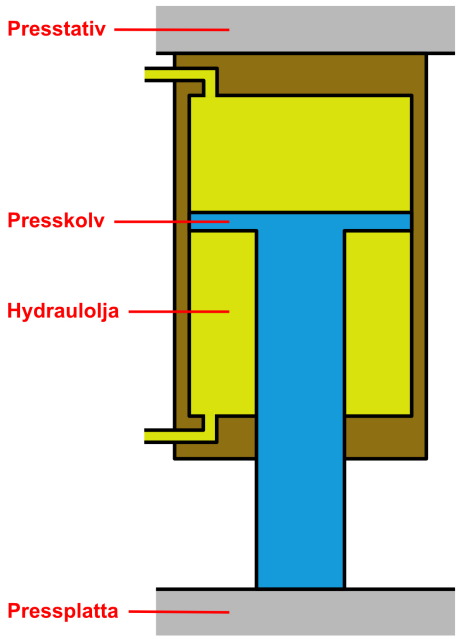
För att ge en uppfattning om parametrar och resultat av hydraulpressning väljs ett exempel från medeltung pressning. Med ett hydrauloljetryck av 250 bar (250 kg/cm^2, ungefär 250 atm eller 25 MPa), vilket motsvarar ett medelhögt tryck inom hydraulpressning, blir kraften på en hydraulkolv med en diameter på 10 cm ungefär 20 ton. Ökas diametern till 20 cm blir presskraften cirka 80 ton.

Konstruktion av hydraulpumpar innebär en balansgång mellan krav på högt oljetryck och stor oljegenomströmning, det går inte att uppnå båda. Här uppenbarar sig den mest påtagliga olägenheten med hydraulpressar, i synnerhet dem med höga presstryck, de har ytterst långsamma rörelser.

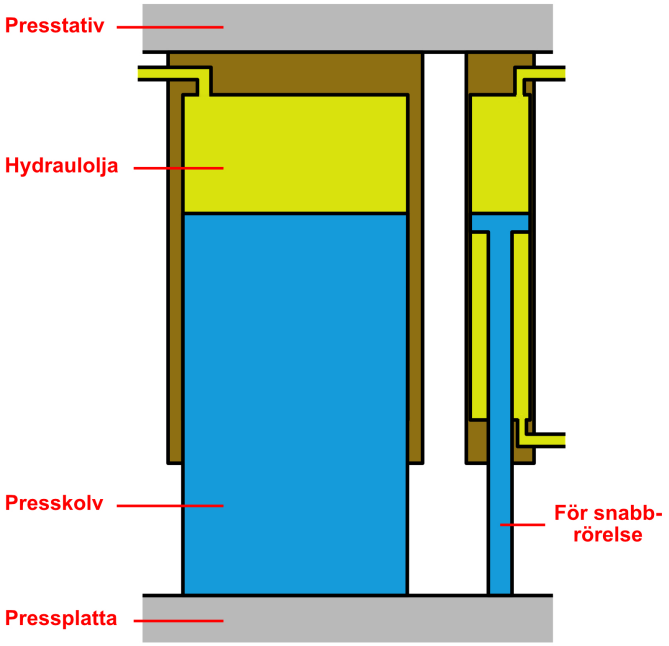
Det har presenterats två lösningar till detta problem. Den första

innebär att två oljepumpar som arbetar parallellt, en högtryckspump och en lågtryckspump som lämnar en stor oljevolym. Pressen rör sig någorlunda snabbt så länge pressen är obelastad. När den blir belastad så stängs lågtryckspumpen och endast högtryckspumpen lämnar olja till pressen. Den andra lösningen går ut på att mindre och snabba hydraulcylindrar lyfter och sänker pressplattan och presscylinders kolvstång när pressen är obelastad.

Presscylindern kan vara av endera av två typer, dubbelverkande eller enkelverkande hydraulcylinder. Den dubbelverkande cylindern kan drivas åt båda hållen, kolvstången trycks ut eller in. Den enkelverkade cylindern kan bara drivas så att kolvstången endast kan tryckas ut. På de billigaste vedklyvarna trycks kolven in av en fjäder, ett sätt som inte är tänkbart vid industriellt bruk. En bra metod är att låta en eller flera små hydraulcylindrar dra in presscylinderns kolvstång och pressplattan.



Tvärsnitt av dubbelverkande hydraulcylinder för alstring av presstryck. Kolvstång och pressplatta förs upp eller ned med oljetillförsel nedanför eller ovanför kolven.



Tvärsnitt av enkelverkande hydraulcylinder för alstring av presstryck. Kolvstång och pressplatta förs upp eller ned med oljetillförsel nedanför eller ovanför kolven i den mindre. hydraulcylindern

Quintuspress. Foto Folke Byström.

Här är det på sin plats att nämna en speciell hydraulpress som dock inte har någon särskilt uppseendeväckande hydraulik utan det är pressramens konstruktion som är säregen. I början av 1930-talet konstruerade den svenske uppfinnaren Baltzar von Platen en högtryckspress och startade försök att tillverka diamanter. Han försökte kopiera naturens sätt att göra diamanter djupt ner i jordskorpan där högt tryck och hög temperatur omvandlade kol till diamant. Baltzar von Platen misslyckades.

ASEA köpte år 1942 rättigheterna till von Platens press och startade under största hemlighet egna försök. Hela projektet kallades Quintus och hydraulpressen fick namnet Quintuspressen.

Quintuspressens stativ består av en rektangulär ram med halvcirkelformade ändstycken och på den nästan ovala trådrullen lindades en omkring en mil lång plattvalsad pianotråd upp. Pianotråden var förspänd, det vill säga att tråden sträcktes hårt under upplindningen, för att ramen inte skulle påverkas av dragspänningar.

Dragspänningarna som uppstod på grund av den höga presskraften skulle helt och hållet tas upp av den pålindade pianotråden.

År 1953 hade ASEA lyckats komma upp till ett tryck i reaktionskammaren 83 000 bar och en temperatur omkring 2 000 °C och tillverkade de första syntetiska diamanterna. De var inte större än sandkorn med det var diamanter. Därefter förfinades tillverkningsmetoderna och 1963 till 1975 tillverkade ASEA industridiamanter som avnvändes för slip- och skärändamål. År 1975 såldes verksamheten till De Beers, en företagsgrupp som praktiskt taget har monopol på handel med diamanter.

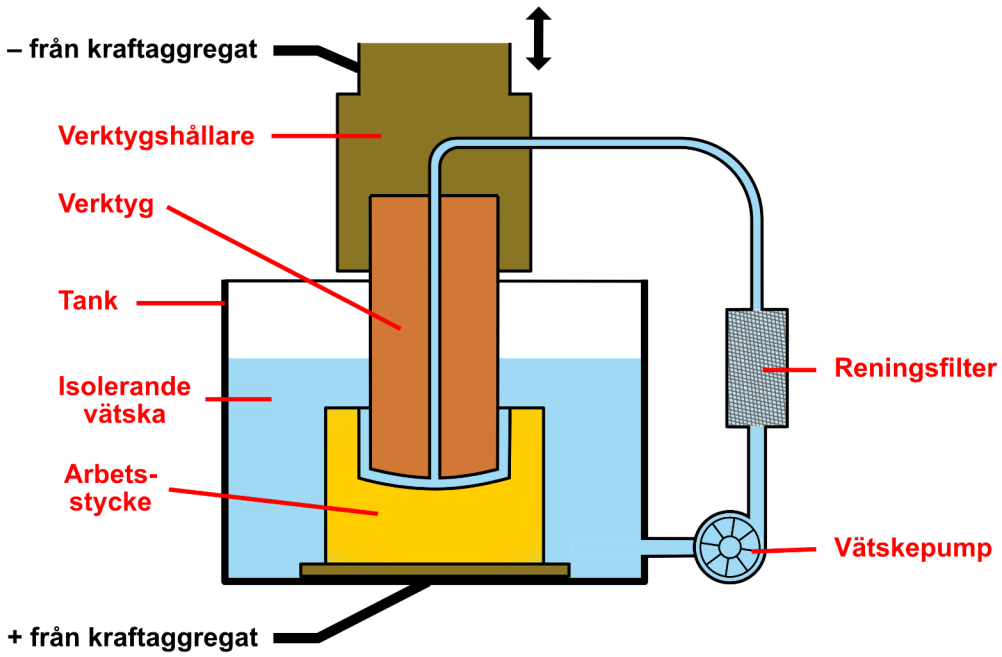
Quintuspressen har fått ett nytt liv och används nu för plåtformning av svårbearbetade plåtmaterial som rostfria stål och titan också i små serier för att endast enkla verktyg krävs.

Gnistbearbetning

Teorin för att låta elektriska gnistor slå ut material från ett arbetsstycke fanns redan i mitten av 1940-talet men det dröjde ända till 1960 innan det fanns gnistbearbetningsutrustningar att köpa. Därefter utvecklades metoden snabbt för att användas på särskilt svårbearbetade material. Förutsättningen är att arbetsstycket kan leda elektrisk ström. I en elektrisk gnista blir temperaturen hög, metaller förångas bland annat men gnistan är så liten att värmen inte når långt in arbetsstycket. Endsat ett ytskikt någon tusendels millimeter tjockt blir påverkad av värmen. Därför kan man gnistbearbeta i härdat verktygsstål utan att härdningen fördärvas.

För sänkgnistning, en av de två varianter som finns inom gnistbearbetningen, tillverkas en omvänd modell av den fördjupning som ska göras i arbetsstycket. Modellen som i fortsättningen kallas för verktyget tillverkas av grafit eller koppar.

Hela bearbetningen försiggår i en vätska som inte leder elektrisk ström, vanligtvis fotogen eller avjoniserat vatten, med arbetsstycket på botten i vätskebehållaren och verktyget ovanför. Verktyget sitter fast i en hållare som kan föras upp och ned av en servomotor. Verktyget och arbetsstycket ansluts till ett kraftaggregat som i tomgång lämnar en pulserande likspännning på ett par hundra volt. Till hela anläggningen hör också en pump för den isolerande vätskan som ska se till att kyla ner den smälta metallen och förvandla metallångorna till metallpulver och transportera bort gasblåsor och metallrester så att de inte kortsluter vektyg och arbetsstycke eller fastnar på verktyget. Vätskan filtreras också noggrannt eftersom den återanvänds.



Principell uppbyggnad av en sänkgnistutrustning.

Arbetssättet hos en sänkgnist är i stort sett helautomatiskt. Verktyg och arbetsstycke ansluts till ett elektriskt kraftaggregagat som lämnar korta pulser av likström med 200–300 volts spänning i tomgång, mellan pulserna lämnar det inget alls. Verktyget matas nedåt med tämligen hög hastighet av servomotorn tills verktyget kommer i närheten av arbetsstycket. Då minskas hastigheten till arbetshastigheten som är i storleksordningen några tiotals millimeter per timme. På något ställe blir avståndet mellan verktyg och arbetsstycke så litet och den elektriska fältstyrkan så hög att en plasmakanal öppnas mellan verktyget och arbetsstycket. Plasmakanalen består av joner av den isolerande vätskan och leder elektrisk ström väldigt bra. Det bildas då en ljusbåge mellan verktyg och arbetsstycke som emellertid slocknar så fort spänningspulsen från kraftaggregatet slutar. Spänningspulserna gör så korta att ljusbågen bara blir en gnista. Gnistan hinner dock smälta och förånga en liten mängd metall på arbetsstycket innan den slocknar. Så kommer nästa spänningspuls och på samma sätt bildas en ny gnista på ett nytt ställe på arbetsstycket osv.

Gnistan påverkar också verktyget. En liten del material försvinner även där men den negativa polen brukar påverkas mindre så därför brukar verktyget kopplas till kraftaggregatets negativa pol.

Strömstyrkan i gnistan kan varieras, högre ström slår loss mer material från arbetsstycket och bearbetar snabbare men ger en ojämnare yta. Med riktigt låg ström kan kan man få polerad yta av gnistbearbetningen.

Det är viktigt att hålla rent mellan verktyg och arbetsstycke så det inte uppstår kortslutningar. Därför brukar man pumpa isolerande vätska genom hål i verktyget för att spola hela spalten mellan verktyg och arbetsstycke. Man brukar även automatiskt lyfta verktyget från arbetsstycket för att hjälpa till med renspolningen.

Den andra varianten av gnistbearbetningsmetoder är trådgnistning. Där består verktyget av en tunn, 0,08 till 0,3 millimeter tjock metalltråd, exempelvis av mässing som är uppspänd vertikalt och arbetsstycket flyttas med ett CNC-styrt koordinatbord. Gnistningen sker på samma sätt som sänkgnistningen med arbetsycket i en isolerande vätska och ett pulserande likspänningsaggregat som genererar gnistan. Ska metoden jämföras med något annat så är den mest lik utsågning av pusselbitar med lövsåg. För att minska risken att få avbrott på grund av avbränd tråd brukar tråden rullas fram kontinuerligt förbi stället där gnistningen sker.

De mest komplexa trådgnistarna har en extra tvåaxlig CNC-styrning av en trådstödpunkt så att det går att göra lutande snitt också. Detta gör det möjligt att exempelvis tillverka stansverktyg med släppningsvinklar direkt i trådgnisten.

Gnistbearbetning är en metod som har många tilltalande egenskaper men den är förfärligt långsam och därför dyrbar. De enda områden metoden används för serietillverkning är där inga alternativ finns exempelvis för upptagning av millimeterstora kylkanaler extremt värmetåliga turbinblad för gasturbiner och jetmotorer. Annars är det tillverkning av verktyg till exempel gjutformar för formsprutmaskiner och pressgjutmaskiner, stans- och klippverktyg. Här kan man direkt bearbeta höghållfasta material som härdade verktygsstål utan att behöva värmebehandla dem efteråt.

Numerisk styrning

Vad innebär egentligen att styra en maskin?

Titta som exempel på hur en manuellt styrd maskin sköts för att tillverka något som beskrivs med en ritning. Man ser till att utgångsmaterial placeras i maskinen, trycker på startknappar för maskinen och all hjälputrustning, ställer med spakar in växellådor för spindelhastighet och hastigheter för verktygsrörelser, väljer och monterar verktyg flera gånger under tillverkningen. Under hela tillverkningen följer man ritningens beskrivning av detaljen med utseende och mått, med rattar och matningsinkopplingar flyttas verktygen till nya positioner samt tar ut detaljen och stänger av maskinen. Allt detta betyder att hundratals handgrepp genomförs för att tillverka en detalj och att nästa detalj kommer att kräva att handgreppserien återupprepas. Om man gör en lista över alla dessa enskilda handgrepp har man ett arbetsprogram för denna tillverkning.

Om listan får en form som kan läsas av maskinen, om alla inställningar kan skötas med hjälp av elektriska signaler och om verktygets läge alltid registreras av maskinen kan maskinen själv med hjälp av en inbyggd dator följa instruktionerna och tillverka en likadan detalj. Maskinen har blivit en CNC-maskin, CNC står för Computerized Numerial Control, på svenska datorbaserad numerisk styrning.

Verktygsrörelser i en maskin sker utefter de slider som verktygsfästet glider utmed och de ligger vinkelrätt mot varandra. De betecknas som maskinens axlar. I manuellt styrda maskiner kan man i allmänhet bara köra utmed en axel i taget. Det blir ingen precision om man försöker vrida på två rattar samtidigt. I en CNC-maskin kan datorn beräkna hastigheterna för axelrörelserna för att låta verktyget gå utefter en rät linje i rymden. Datorn är dessutom så snabb att den genomför beräkningerna även om hastigheterna ständigt förändras och därmed kan även krökta banor styras. Det var tidigare endast möjligt med kopiermaskiner där verktyget följer konturen av en förtillverkad mall.

NC-tekniken började utformas tankemässigt under 1940-talet i USA men det dröjde till 1952 innan det fanns någon maskin att köpa. Den första maskinen kan betraktas som en stenåldersmaskin och var mycket dyr och opålitlig. När mikroelektroniken utvecklades under mitten av 1960-talet började de större och rikare verkstadsföretagen skaffa sig NC-maskiner, svarvar och fräsmaskiner. Nästa utvecklingssteg kom i mitten av 1970-talet med mikrodatorerna vilka fördes in som styrsystem. CNC var född. Nu behövde man inte konstruera ett nytt styrsystem till varje maskin. All specialanpassning gjordes i systemprogramvaran. Det blev också möjligt att köpa färdiga drivenheter för axelrörelser och varje duktig tillverkare av konventionella maskiner kunde direkt börja tilllverka numeriskt styrda maskiner. Priserna sjönk och många mindre företag fick råd med den nya tekniken.

Den maskinläsbara koden består av rader som i detta sammanhang kallas block. Varje block innehåller instruktioner som skall genomföras samtidigt. När alla instruktioner är genomförda läser styrsystmet nästa block och så vidare. Ett block består av ett eller flera ord. Varje ord i blocket inleds med en bokstav och därefter kommer ett antal siffror. Bokstaven anger vad de efterföljande talet skall användas till. Exempelvis X, Y och Z följs av ett avståndsmått medan G följs av ett tvåsiffrigt tal som är en kod för rörelsesättet fram till slutpunkten i blocket. Vissa av koderna har till- eller frånfunktion och de brukar stysystemet hålla i minne till de upphävs av den motsatta koden.

```
. . . . . .
N012 G10 P1 R3,0
N013 G00 Z5,0 F300,0 S6000 M03
N014 G17 G41 D01 G00 X8,0 Y8,0
N015 G01 Z-7,0
N016 Y35,0
N017 X45,0
N018 G03 X15,0 Y-15,0 I15,0
N019 G01 Y-20,0
N020 X-60,0
N021 Z7,0
N022 G40 G00 X-8,0 Y-8,0
. . . . . .
```

En utskrift av elva block utklippta ur ett CNC-program.

Sättet att skriva maskinspråket och koderna är inte helt standardiserad, bara vissa är ISO-standardiserade, men både maskin- och styrsystem-fabrikanter försöker följa den etablerade normen så gott de kan. ISO är en internationell organisation som arbetar med standarder inom de industriella och kommersiella områdena. Ett av problemen är att maskintillverkarna ständigt hittar på nya funktioner på sina maskiner som inte har förutsetts och därför behöver nya koder för att beordra fram nya finesser i ett gammalt språk. Ofta sker det utan samordning med andra fabrikanter. Därför är det enda rådet att alltid läsa din maskins programmeringshandledning för att få korrekt information.

En 8-håls hålremsa av papper. varje hål-kombiation motsvarar ett tecken. Denna typ av remsa var vanligast för NC. Bild från Wikipedia.

I början var NC-maskinerna undantagen på verkstadsgolven och var inte integrerade i företagets organisation. Framtagandet av bearbet-ningsprogrammen var helt manuella. En produktionstekniker med ibland diffusa kunskaper om lämpliga bearbetningsdata fyllde för hand i en programmeringsblankett där varje blocks nummer, skärdjup, matningshastigheter, spindelvarvtal och så vidare angavs under rätt kod. Blanketterna lämnades för utskrift i en teletype- eller telex-maskin eller liknande som producerade dels en utskrift på papper, dels en stansad hålremsa. Hålremsan var då det enda sättet att föra över programmet till NC-maskinen. Den var också det enda sättet att lagra programmet (förutom pappersutskriften) och måste köras i maskinens remsläsare för varje detalj som skulle tillverkas. Nåväl programmet provades i NC-maskinen utan arbetsstycke för att kontrollera att att det inte innehöll några stora fel, sedan med arbetsstycke för att testa bearbetningen medan operatören justerade alla hastigheter med manuell övermanning i procent. För upptäckta fel måste en ny hål-

remsa produceras, det vill säga en ny utskrift på teletypemaskinen. Det var tveksamt om man tjänade så mycket tid genom att använda NC.

Teletype-skrivare, en skrivmaskin som både skiver klartext och stansar texten på en pappersremsa. Den var det enda vektyget för att föra över bearbetningsprogrammet till NC-maskinen. Foto från Wikipedia.

När mikrodatorn hade gjort sitt intåg i NC-tekniken och maskinerna blivit CNC-maskiner blev allting mycket enklare. Då matade man in hela bearbetningsprogrammet från hålremsan till styrsystmets dators primärminne och maskinen hämtade blocken därifrån i stället. Egentligen behövdes ingen hålremsa alls för man skaffade IBM PC och särskild ordbehandlare för CNC-maskinens kod och programmet fördes över med kabel till CNC-maskinen. Man hade dock vant sig vid att spara sina maskinprogram i små runda plastburkar så hålremsan blev kvar ett tag till.

Nästa stora jätteskutt inom verkstadstekniken togs när CAD introducerades. CAD står för Computer Aided Design, på svenska datorstödd konstruktion. Konstruktören flyttade från sitt ritbord till en arbetsstation som var en dataterminal med en stor bildskärm, vilken för övrigt var jättedyr. Ändå dyrare var den minidator som också krävdes. Framför bildskärmen angav konstruktören koordinater i tre dimensioner som datorn ritade konstruktionslinjer mellan. Bilden som ritades upp på bildskärmen kunde konstruktören vrida och vända på för att se sin konstruktion från alla möjliga håll. Det dröjde inte många är förrän de elaka tillverkarna av mikrodatorer och programvaruproducenterna hade tagit fram persondatorer som gjorde samma jobb till mindre än tiondelen av priset för arbetsstationerna. Då blev begagnade ritbord oerhört svårsålda.

Nästa stora steg behövde man inte vara raketforskare för att förutse. Eftersom detaljens utseende redan fanns som en datafil kunde CNC-programmets geometriska delar nästan automatiskt genereras. Det var bara beabetningsdata som verktygsval, skärdjup, matningshastigheter och skärhastigheter som behövde tillföras. Allt detta går under beteckningen CAM, Computer Aided Manufacturing eller på svenska datorstödd tillverkning. Även detta gjordes på persondatorer, gärna speldatorer eftersom de generellt arbetade snabbare.

Med allt fler människor som arbetade med delar av varje bearbetningsprojekt blev det allt viktigare att de arbetade med samma datafiler vilket förutsatte ett nätverk för datorer och de centrala dataservrarna. Dessutom ansluts varje maskins styrsystem till nätverket och man behöver inte grubbla över om

programremsan är aktuell eftersom det senaste utprövade programmet finns på företagets server för att hämtas.

Man arbetade för att konstruera särskilda nätverk för verkstäder men med växlande framgång innan man ändå började använda de olika dataöverföringsprotokoll internet använder. Man behöver dock inte ansluta det interna nätverket till internet men det finns fördelar med en anslutning. Det går då att arbeta på distans, kundkontakter underlättas och mycket annat. Man måste ändå ta till extraordinära säkerhetsåtgärder för att skydda sig mot stöld av företagshemligheter, sabotage och dataförluster. Människor börjar lära sig att lagra säkerhetskopior på andra ställen än där originalet finns. Någon har lärt sig detta den hårda vägen.

Det är inte bara stysystemen på de numeriskt styrda maskinerna som förändrats genom tiderna. Även maskinerna har förändrats, kanske mest när det gäller drivningen av axelrörelserna och verktygshanteringen i maskinen. Som i de första NC-maskinerna används kulmutterskruvar men genom större noggrannhet i skruvarna mäts rörelserna inte genom mätskalor utan med varv och delar av varv på skruven. Motorerna som driver skruvarna var från början likströmsmotorer, senare växelströmsmotorer för att nu vara på väg mot stegmotorer för att göra motorregleringen mer noggrann. Likströmsmotorer har en komplex och svårinställd servostyrning medan stegmotorer rör sig en bestämd vinkel för varje spänningspuls till motorn.

Verktygsmagasinen i de numeriskt styrda maskinerna blir större och större vilket gör att det är möjligt att ha ett stort antal standardverktyg mer eller mindre permanent i maskinen och ändå ha utrymme för att sätta in specialverktyg vilket minskar riggningstid och förenklar programmeringen.

NC-tekniken började lugnt för ett drygt halsekel sedan med svarvar och fräsmaskiner och har nu verkligen exploderat med CNC till praktiskt taget varje maskintyp inom verkstadsindustrin. Tekniken har dock skapat en stor grupp anställda som inte är riktigt delaktiga för de aldrig fått vara med på riktigt. Det gäller inte bara operatörerna på verkstadsgolvet.
I en intervju för drygt 30 år sedan med en ung flicka som hade fått en gedigen utbildning inom NC-området berättade hon i mycket positiva ord om sitt jobb som NC-operatör. När hon fick frågan om det inte fanns något negativt att säga svarade hon efter lång tystnad ”Min arbetsgivare är bra korkad, han inser inte att när han hyr mina armar och ben så följer huvudet med till samma pris. Vi får inte ens diskutera förbättringar av maskinprogrammen.” Förhoppningsvis har man funnit en ny och bättre arbetsorganisation nu.

Spånavverkande bearbetning

Spånavverkande bearbetning av metaller innebär att man för ett verktyg försett med en egg ett litet stycke under metallytan på arbetsstycket. Skäreggen påverkar materialet med så stor kraft att materialets hållfasthet överskrids och en spricka bildas mitt för skäreggen. Spånan lossnar från arbetsstycket men håller ihop och lämnar bearbetningsstället som en lång sträng.

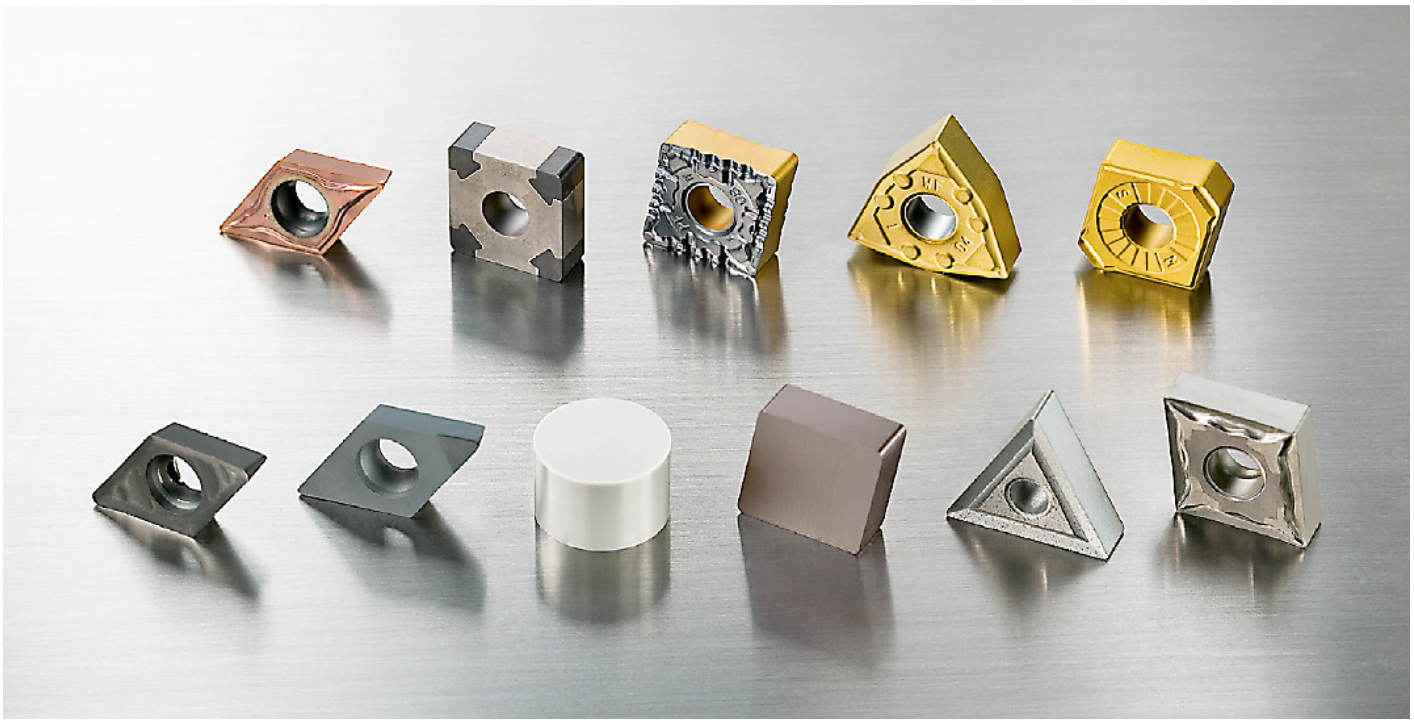
Skäret eller stålet som det skärande verktyget kallas blir påverkat av stora krafter och friktionen mellan skäret och arbetsstycket samt friktionen mellan skäret och spånan gör att skäreggen blir flera hundra grader varmt. Skäret måste kunna behålla formen och sin hårdhet under den temperaturen annars slits det ner väldigt snabbt. Värmeutvecklingen kan minskas om skärhastigheten, det vill säga hastigneten skäret har i arbetsstycket, sänks. Man kan även pumpa ett kylmedel över bearbetningstället, antingen olja eller vatten. Olja kyler dåligt men smörjer bra och minskar friktionen. Vatten är ett utomordentligt kylmedel det kan transportera bort stora värmemängder. Man har gjort en kombination av vatten och olja, en stor mängd vatten med en liten mängd olja som bildar en emulsion (små oljedroppar som hålls svävande i vattnet). Skärvätska som emulsionen benämns ser ut som mjölk och används flitigt inom verkstäder men är olämplig att spola ut i avloppet.

I slutet av 1700-talet när man började svarva och borra i metaller gick det anständigt att arbeta i mjukare metaller som tenn och koppar men i stål, eller som då betecknades som järn, gick det sämre. Det var först när kunskapen om uppkolning och härdning infann sig som det någon ordning på stålbearbetning.

Omkring år 1900 började man i USA att experimentera med höga halter av molybden i stål för skärande bearbetning och man fick fram ståltyper som bibehöll sin hårdhet vid temperaturer upp till 600 °C. De kallades HSS (High Speed Steel), på svenska snabbstål för att de tålde betydligt högre skärhastigheter än de

gamla kolstålen. Under 1930-talet blev det brist på molybden och man experimenterade fram snabbstål med wolfram som ersättare. På 1970-talet ersattes snabbstålen för svarvning och fräsning av hårdmetallverktyg men fortfarande används snabbstål i olika borrverktyg.

Hårdmetall patenterades i Tyskland 1923 och trots namnet innehåller det bara cirka 10 % metall nämligen kobolt, resten är volframkarbid. Volframkarbid har en hårdhet som närmar sig diamanter. Hårdmetall tillverkas genom en pulvermetallurgisk process. Fina korn av volframkarbid och kobolt blandas, pressas med högt tryck samman oftast i form av plattor samt hettas upp i vakuum i en ugn till en temperatur över 1500 °C då kobolt smälter. Formen bibehålls men plattan krymper något, volframkarbiden ger slitstyrkan medan kobolten ger hållfastheten. Plattan löddes i början på ett verktygsfäste av stål och slipades med diamantskiva till rätt geometri för skärverktyget. Numera pressas plattorna till rätt geometri och fästs i en verktygshållare med en skruv eller en klämanordning. När en skäregg blir utsliten lossar man plattan och vrider fram en ny skäregg. Dagens skärplattor kallas vändskär har mellan två till fyra skäreggar och i undantagsfall upp till åtta skäreggar. Dagens skärplattor har också fått kompletteringar i innehållet, volframkarbiden har kombinerats med små mängder av andra metallkarbider för ökad hårdhet och högre temperaturer. De har också fått ytbeläggningar av olika titannitrider för bättre slitstyrka och mindre friktion. Materialen förångas i vacuum och ett tunt skikt avsätts på plattorna.



Ett urval av vändskär för svarvning. Foto Sandvik Coromant.

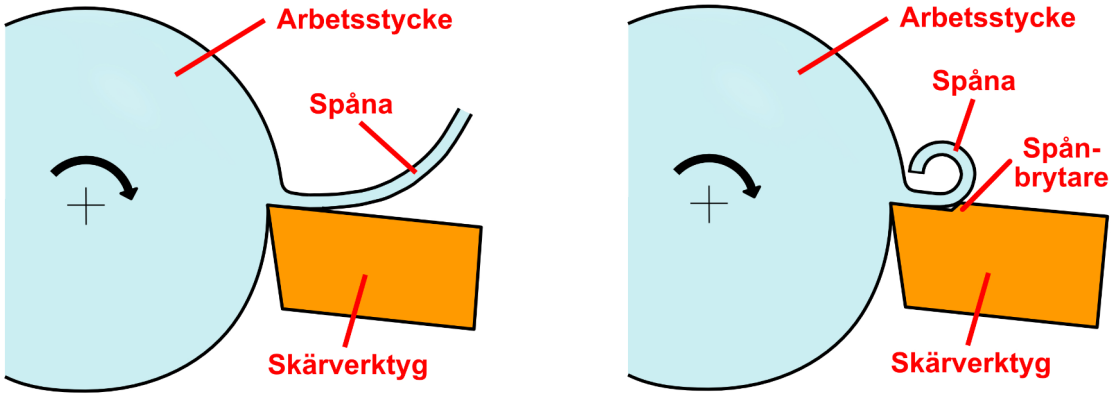
Under slutet på 1900-talet hade två svenska företag, Sandvik Coromant och SECO Tools, tillsammans klar dominans på hela världsmarknaden för hårdmetall. Sedan år 2012 är Seco Tools ett dotterbolag till Sandvik.

Det har också utvecklats keramiska vändskär för bearbetning av hårda material och varmhållfasta superlegeringar eller andra mycket svårbearbetade material. De keramiska skären tål högre skärhastigheter än hårdmetallskär. De består av exempelvis av kiselnitrider, titankarbid, titankarbonitrid eller aluminiumoxid, ibland blandningar av ämnena. De tillverkas genom att sintra ihop pulver och var till en början mycket sköra. Därför kallades de lite föraktfullt för pottskärvor men de har förbättrats och tål mycket mer än tidigare.

Den första spånavverkande metoden att bearbeta hårdare metaller som tog fram var borrning. Redan i början av 1600-talet användes borrkvarnar för att borra upp loppen i bösspipor och kanonrör. Borrkvarnar var stora vattenhjulsdrivna borrmaskiner. I slutet av 1700-talet började svarvar att användas i England och svarvar började leta sig fram till Sverige. När sedan mekaniska verkstäder etablerades i Sverige 1809 och framåt kom maskiner till de andra spånavverkande metoderna som fräsning, hyvling, sågning och slipning.

Svarvning

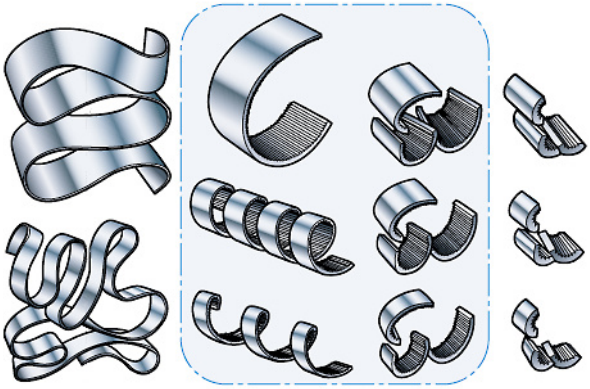
Tidigare har svarvning endast skapat rotationsymmetriska föremål. Nu moderna svarvar har förändrat förutsättningarna en smula genom att vissa fräsningsoperationer är möjliga i svarvar. Vid svarvning roterar arbetsstycket och svarvstålet ansätts mot mantelytan eller mot en yta som ligger i en vinkel mot rotationsaxeln. Under svarvningen flyttas svarvstålet i sidled så att det kommer att göra en spiralformad bana på arbetsstycket. Svarvning utförs både utvändigt och invändigt i hål.



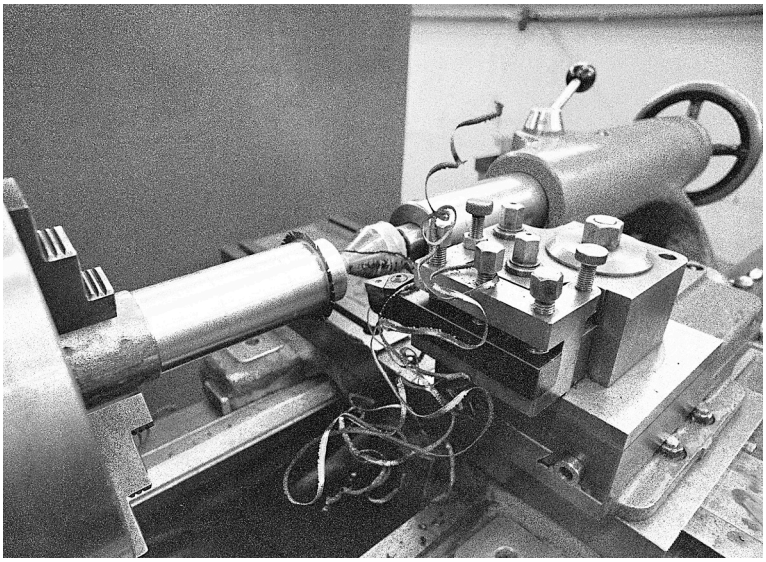
Två skisser över svarvning och spånbildning, till vänster när svarvverktyget har en plan översida och spånan blir lång och nästan rak. Till höger trycks spånan mot en liten upphöjning, kallad spånbrytare, och böjs kraftigt samt får stora sprickor. När spånan träffar sig själv eller arbetsstycket faller den sönder i småbitar.

Det är ur många synpunkter viktigt att inte få långa spånor vid svarvning eftersom de gärna bildar stora trassliga nystan som inte ens gudarna vet var de tar vägen. De kan hamna vid bearbetningsstället och orsaka ett verktygshaveri eller de kan kastas iväg utanför svarven och skada någon eller något. Spånor kan vara riktigt vassa. Dessutom måste man ha svarven bevakad för att vid behov rensa bort en spånhärva, det går knappast att använda automatisk svarvning. Korta spånor faller automatiskt ner från beabetningsstället och ställer inte till med några problem.

Vändskär av hårdmetall har gjort svarvningsresultaten mycket mer förutsägbara än när skären slipades för hand i snabbstål eller härdat verktygsstål. Pressformarna brukar gnistbearbetas och därför kan man med hög precision placera ut de gropar och åsar som ger skärplattan optimala egenskaper och både formar och bryter spånorna på bra sätt.



Inom det blå fältet ses lämplig form på svarvspånor. Bild från Sandvik Coromants Utbildningshandbok.

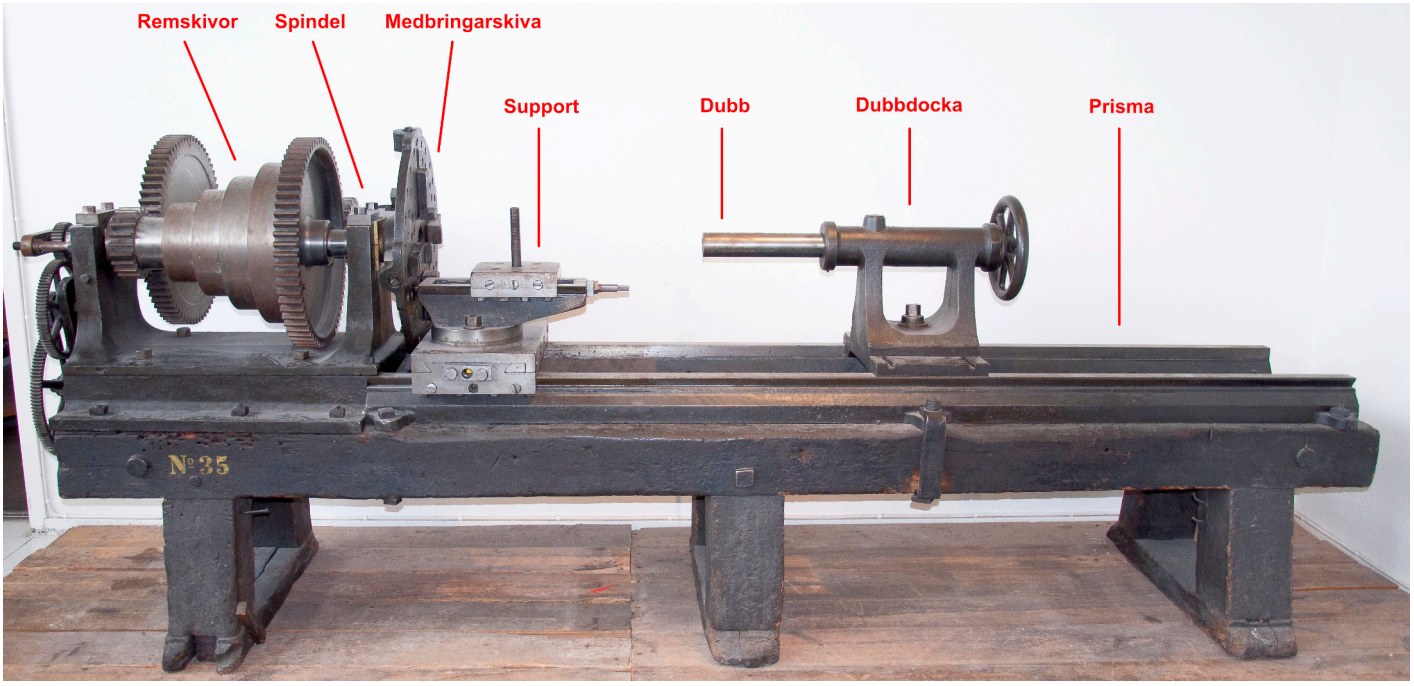


Olämpliga svarvspånor i supportsvarv.

Supportsvarv

De första svarvarna i svenska verkstäder kom troligen till Sverige och Bergsunds gjuteri på 1790-talet då en mekanisk verkstad böjade byggas upp. Den stora introduktören av verktygsmaskiner blev dock Samuel Owen anställd som verkmästare på Bergsund år 1804. Owen startade Kungsholmens Mekaniska Werkstad 1809 där han konstruerade och tillverkade verktygsmaskiner även för andra verkstäder.

De första svarvarna var mycket enkla, de hade en roterande spindel med en dubb och en medbringare som överförde rotationen till arbetsstycket, ett stativ med ett prisma som parallellt med spindelns rotationsaxel och är styrskenor för dubbdockan och släden eller supporten som den också kallas. Arbetsstycket hölls fast mellan spindelns och dubbdockans dubbar. Svarvstålet monterades på den i längsled löpande släden.



Svarv med trästativ konstruerad av Samuel Owen omkring 1840 för svarvning av kanonprojektiler på Åkers Styckebruk, Supporten blev troligen utbytt någon gång på 1900-talet och svarven togs ur bruk 1947. Foto Peter Häll för Tekniska Museet.

Under de sista åren på 1800-talet började svarvar att utvecklas snabbt. Alla blev inte likadana men de fick ett gemensamt namn, de kallades supportsvarvar. Från början drevs de med centraltransmission men först omkring år 1930 fick varje maskin sin egen elmotor. På spindeln blev det möjligt att montera olika chuckar för att snabbt kunna fästa olika ämnesstycken. Maskinerna fick växellådor för spindlarna och maskinell längdmatning och supporten försågs senare med en tvärslid med inkopplingsbar maskinell tvärmatning. Matningsrörelserna fick växellådor för att växlingen skulle gå snabbare än att manuellt byta kugghjl. Längdsliden försågs med matningsskruv för att gängor skulle kunna svarvas. Verktygen fästes på supparten med snabbfästen så att man snabbt, enkelt och precist kunde växla verktyg.

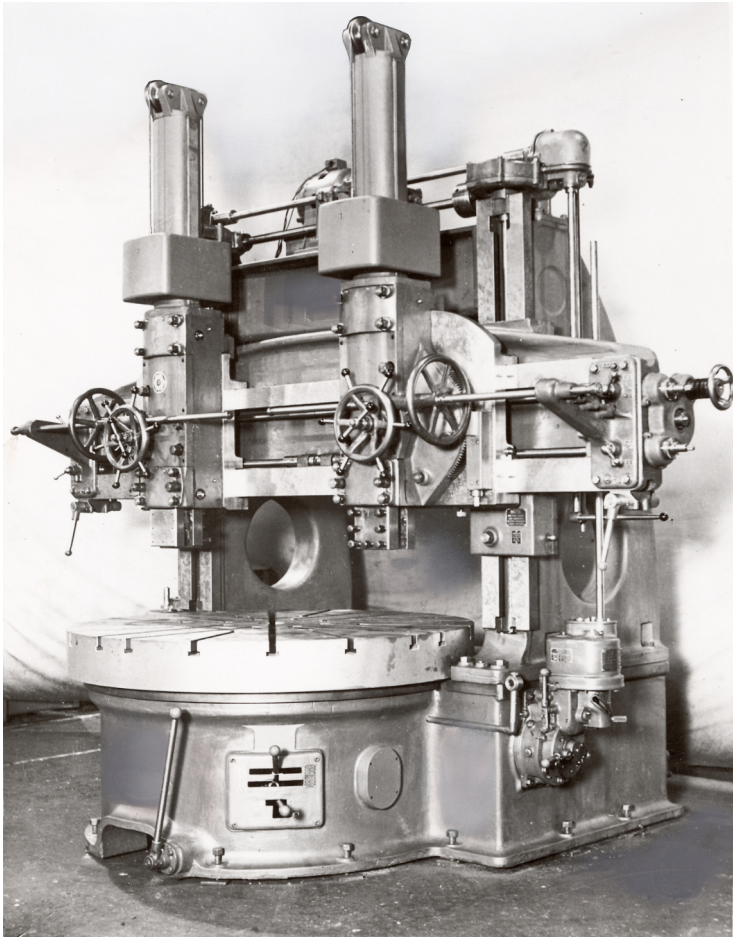
Supportsvarven var ändå en rent manuellt styrd maskin, det behövdes en yrkeskunnig svarvare vid svarven och han, det fanns då mycket få kvinnor på verkstadsgolvet, hade fått en egen yrkestitel supportsvarvare. Supportsvarvaren hade mycket lite tid för att göra något annat än att byta arbetsstycke, vrida på rattar och rycka i spakar.

Supportsvarven var verkstadens schweiziska armékniv, den var bra till allt. Enstyckstillverkning eller korta serier samt stora och små arbetsstycken passade alla till supportsvarvar. Det finns en övre gräns för diametern på arbetsstycket, avståndet mellan dubb och prismat sätter den gränsen. Långa arbetsstycken med små eller medelstora diametrar passar bäst.

Supportsvarvar fungerade som arbetshästar i verkstädern under en mycket lång tid och började bytas ut först när de numeriskt styrda svarvarna kom i början på 1970-talet. Fortfarande står det en och annan supportsvarv tillgänglig på verkstaden för något oplanerat engångsjobb.

En mindre supportsvarv moderniserad med elektronisk mätutrustning. Foto från Wikipedia.

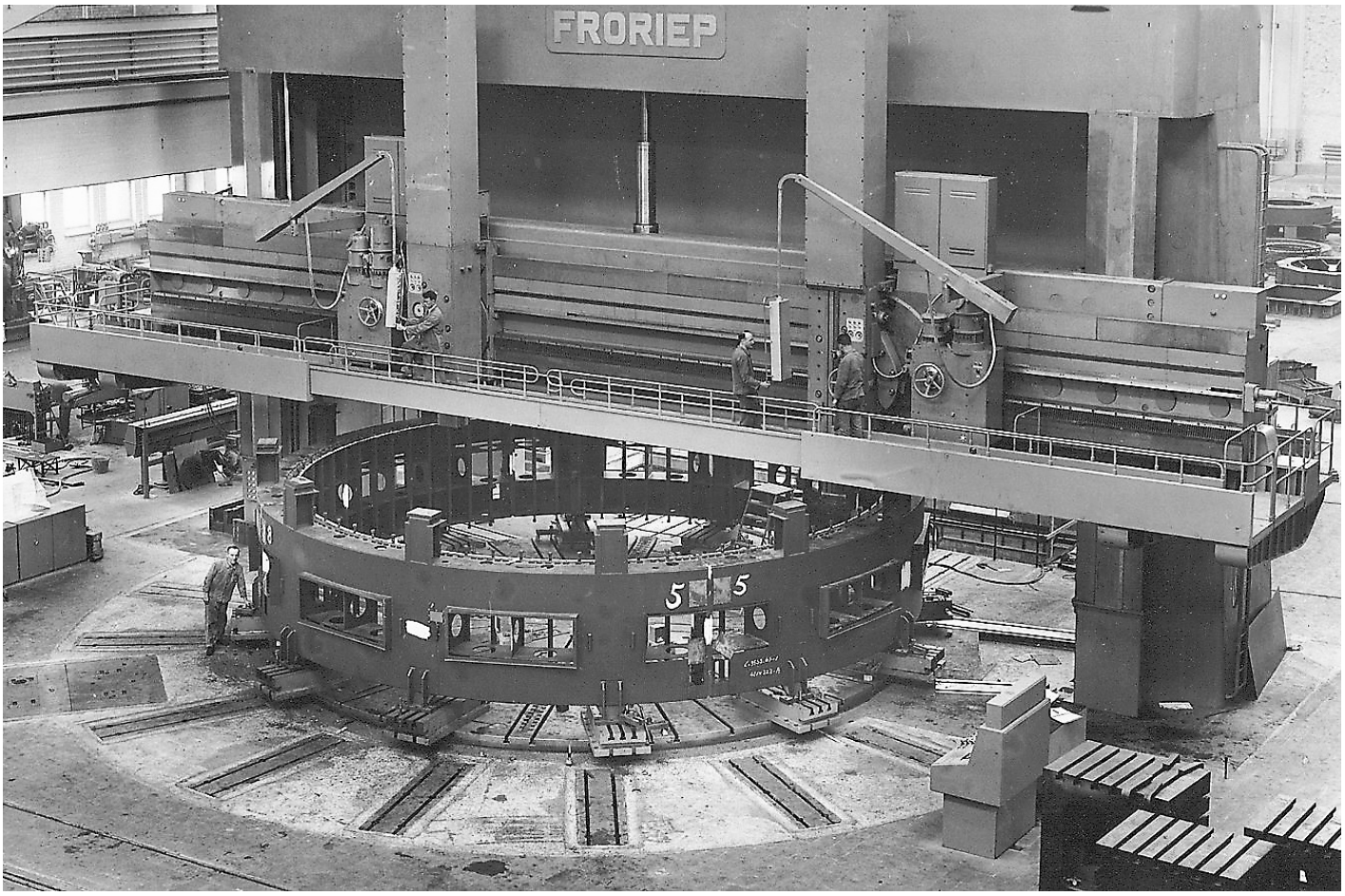
Karusellsvarv


Karusellsvarv för arbetsstycken med maximalt 1,8 meters diameter. Foto Tekniska Museet.

Särskilt tunga arbetsstycken eller korta arbetsstycken med stora diametrar har fått sin specialsvarv i karusellsvarven. Den har en vertikal spindelaxel utan dubb eller chuck men den har en stort cirkulärt bord som arbetsstycket spänns fast på. Uppspänningen tar tid för man måste noggrannt mäta in arbetsstycket så det hamnar centrerat på bordets centrum. Med en stor klubba kan även tunga arbetsstycken att flytta sig någon tiondels millimeter. Med spännjärn låser man sedan arbetsstycket på plats. Svarvverktyget eller verktygen flyttas utefter vertikala gejdrar och tvärmatningen utefter en horisontal gejder. Genom att luta en vertikal gejder kan koniska ytor svarvas.

Man kan ju förledas att tro att karusellsvarvar inte kan ersättas eftersom de ju gör perfekt runda hål och cylindrar. Det stämmer men CNC-fräsar och CNC fleroperationsmaskiner gör det nästan lika bra och de kan göra mycket mer jobb i samma uppsättning.

Det finns fortfarande ett behov av karusellsvarvar för mycket stora och tunga objekt. Man brukar även förse moderna karusellsvarvar med CNC-styrning och lägga till en fräsenhet så att borrning och enklare fråsning kan gernomföras på arbetsstyckena.



Karusellsvarv i Finnslättsverkstaden, där ASEA (nuvarande ABB) från 1960 till 1978 tillverkade stora vattenkraftgeneratorer. Här ska en stator med diameter av 10,5 meter till en generator svarvas. Foto från Västmanlands Läns Museum.

Patronsvarv

Patronsvarvar som även kallas plansvarvar används för att svarva föremål med stor diameter och kort längd. Patronsvarvar har samma användningsområde som karusellsvarvarna men de är avsedda för arbetsstycken med mindre dimensioner och lägre vikt. Patronsvarvar har horisontella spindelaxlar och backskivor med stor diameter samt prismor som inte sträcker sig fram under backskivan.

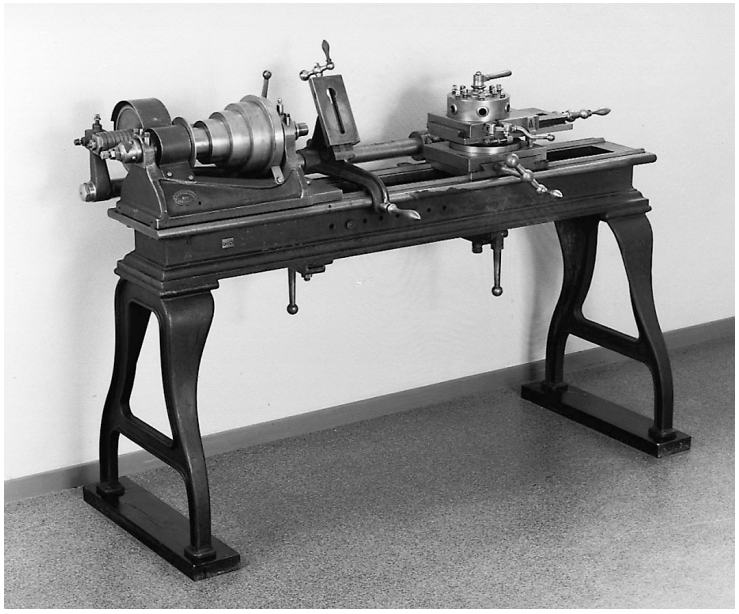
Det finns fortfarande ett litet behov av att svarva stora lock och skivor varför det förekommer en del manuellt styrda patronsvarvar i verkstäder. Några enstaka patronsvarvar har i efterhand försetts med numerisk styrning.

Ett problem med en konventionell patronsvarv är att skärhastigheten varierar väldigt mycket då verktyget är nära rotationsaxeln och nära backskivans periferi. Det påverkar bearbetningen negativt. Tidigare har försök gjorts att förse spindeln med en hydraulisk växellåda som liknar bilars automatväxellåda. Det blev bättre men inte bra. Med CNC kan det problemet lösas genom att spindelrotationen styrs av programmerad skärhastighet och svarvverktygets avstånd från rotationsaxeln.

En ganska modern patronsvarv. Foto från Wikipedia.

Revolversvarv

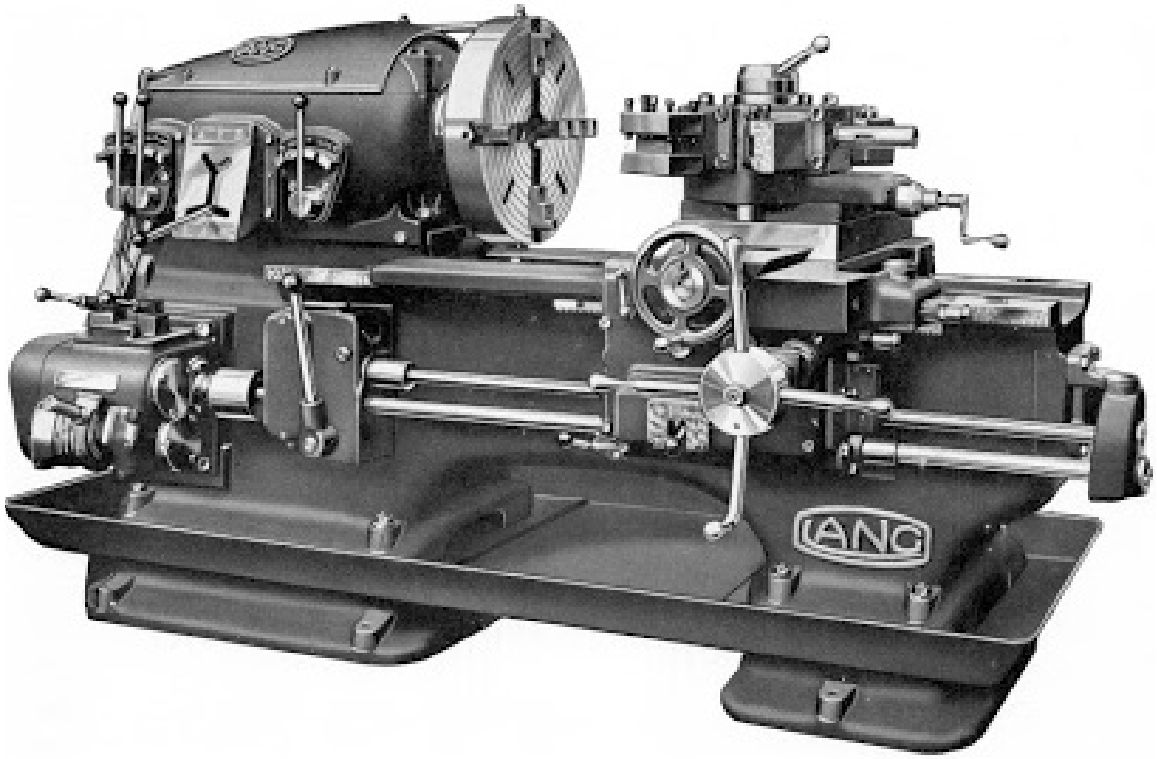
Ska det tillverkas en serie av likadana svarvade detaljer blir svarvning i supportsvarvar orationell eftersom mycken tid ödslas på att byta verktyg i supporten. Det löstes genom att verktygsfästet på supporten byttes ut mot en roterande verktygshållare med vanligtvis plats för sex borrar eller svarvverktyg som indexerades fram. Till varje verktyg justerades ett mekaniskt stopp som stoppade bearbetningen. Svarvverktygen justerades till rätt svarvdiameter. De svarvarna kallades revolversvarvar på grund av det roterande verktygsfästet.



Revolversvarv av äldre modell. Foto Tekniska Museet.

Senare versioner av revolversvarvar var försedda med ett vred med långa armar som man förde släden fran och tillbaka med och när släden fördes mot att stopp längst bort från arbetsstycket indexerades verktygsrevolvern till nästa indexeringsläge. För svarvaren var jobbet att byta arbetsstycket och att köra supparten fram tillbaka tills arbetsstycket blev färdigbearbetat.

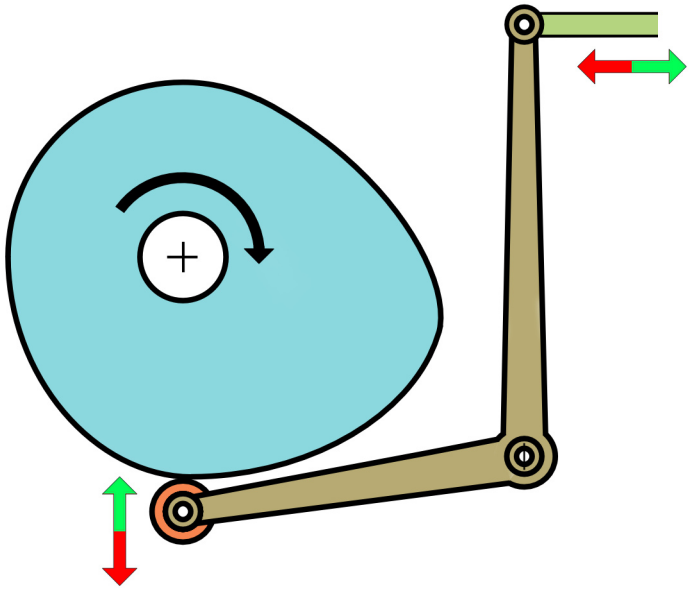
Revolversvarven var bara ett steg på vägen mot automation. Det behövdes fortfarande en person per svarv. Svarvaren tillverkade fler detaljer än med tidigare maskin men tidvinsten var ändå inte uppsendeväckande stor. Revolversvarven överlevde bara så länge att som de kamstyrda automatsvarvarna inte var helt färdigutvecklade.



Revolversvarv av modernare snitt. Foto från Wikipedia.

Kamstyrd automatsvarv

År 1914 startades det tyska företaget INDEX-Werke med att börja automatisera revolversvarven. Företaget hindrades av två världskrig att nå världsmarknaden men i början av 1950-talet blev deras kamstyrda automatsvarvar allmänt kända och köpta. De blev så framgångsrika att kamstyrda svarvar allmänt kallades för indexautomater. Maskinerna var avsedda för tillverkning av svarvade detaljen av mindre storlek och de matades från ett magasin med stänger i flera meters längd. Verkstadsföretag hade långa rader av svarvautomater som praktiskt taget dygnen runt producerade axlar, nipplar, bussningar och mycket annat smått och runt. Maskinerna var driftsäkra och krävde inte så mycket tillsyn, bara stickprovskontroll regelbundet av måtten på de färdiga detaljerna och påfyllning av stångmagasinen.



En kamskiva med hävarm.

Maskinen har en axel som roterar ett varv för varje tillverkningscykel, det vill säga varje gjord detalj. På den axeln monteras ett antal kamskivor som ska styra de aktiviteter som maskinen ska utföra. Varje sådan aktivitet har sin kamskiva, släden med sin verktygsrevolver, framväxling av nästa verktyg, verktyg som rör sig vinkelrätt mot rotationsaxeln, chuck och materialframmatning, start och stopp och så vidare. Varje skivas kamkurva följs av en hävarm som överför rörelsen till sin enhet.

Kamskivornas kurvor fräser man i kolstål som sedan härdas för att få slitstyrka, en ganska svår och tidsödande process. Man tillverkar inte en ny skivpack för en liten tillverkningsserie och man ska vara säker på att den tillverkning i automaten kommer att fungera innan skivorna framställs.

När man har en provad pack med kamskivor är det inga problem att tillverka några tiotusental svarvade delar, det är bara att beställa stångmaterial, montera in kamskivepacken, montera och finjustera verktygen samt trycka på startknappen. Det finns fortfarande många helmekaniska kamautomater i verkstadsindustrin som tillverkar enkla svarvade detaljer som det finns återkommande stor åtgång på men det är inget företagen skryter om på sina hemsidor.

De moderna automatsvarvarna har som allting annat CNC-styrning med fler tillgängliga verktyg på en eller två skivrevolvrar, flera spindlar, automatisk växling mellan spindlar så att bearbetning sker på arbertsstycket båda ändar och fräsenheter för att göra spår och planingar. Dessutom går det mycket snabbare att ta fram bearbetningsprogrammet och det är en barnlek att ändra programmet.

Numeriskt styrda svarvar

De första numeriskt styrda svarvarna liknade vanliga manuella svarvar men med en släde och tvärslid som var styrd med hjälp av likströmsmotorer och kulmutterskruvar. Tvärsliden hade en verktygsväxlare med vanligtvis fyra till sex olika svarvverktyg, spindelmotorns varvtal kunde förändras kontinuerligt och chucken öppnades och stängdes hydrauliskt. NC-svarvarna såg ut som supportsvarvar sett sedan hundra är tillbaka med ett undantag, det gick att stänga in arbetsutrymmet med plåtskärmar eftersom operatören inte behövde komma åt några reglage på maskinen. Han använde bara knapparna på styrsystemets panel. Det var rent och snyggt runt maskinen, inga spånor eller ingen kylvätska sprutade kring maskinen.

Många av de första installationerna i början på 1970-talet såg ut som sommarstugetomter med vita staket runt om och ett vitt bord, en vit stol på heltäckningsmatta för operatören samt en och annan stor krukväxt på golvet. Företaget höll ofta operatören med en overall i ljusa färger. Detta var företagets pr-arbetsplats. Nu har CNC-maskiner blivit vardagsvara på verkstadsgolvet och det hålls rent och prydligt i hela verkstaden.

NC-svarvarna förändrades också, enkelt sett tippades de ett kvarts varv framåt så att prisma, släde och tvärslid kom att finnas på den bakre väggen så att det blev mycket lättare att sätta in och ta ut arbetsstycken i svarven, inget är i vägen längre.

En stor och kraftig CNC-svarv från SMT. Den här modellen, Swedturn ST 700, kan bearbeta arbetsstycken upp till 4 meters längd och 760 millimeters diameter. Foto SMT Machine AB.

I grundversion arbetar NC-svarvar bara med två axlar, z- och x-axel. Z-axeln utefter spindelns rotationsaxel med den positiva riktning från spindelnosen och utåt. X-axeln vinkelrätt mot rotationsaxeln och den positiva riktningen från rotationsaxeln och utåt. Moderna CNC-maskiner har inte bara svarvningsfunktioner att tillgå. De kallas flerfunktionssvarvar och har borr- och fräsenheter som har sina rotationsaxlar både radiellt och axiellt i förhållande till svarvspindelns rotationaxel. Detta förekommer ofta på medelstora och små CNC-svarvar och kräver ofta att ISO-koderna kompletteras med hemmagjorda koder för styrningen.

I Sverige utvecklades rätt tidigt kraftiga numeriskt styrda svarvar. Manuellt styrda svarvar och även fräsmaskiner började tillverkas på Köpings Mekaniska Verkstad under mitten av 1800-talet och de hade namnet Köping. Verkstaden grundades 1856. År 1920 köptes verkstaden av Volvo för att tillverka växellådor och bakaxlar men även verktygsmaskiner åt Volvo. 1960 såldes verktygsmaskintillverkningan till holdingbolaget Statsföretag AB och fick namnet SMT. År 1968 visades den första NC-svarven och 1972 den första CNC-svarven av SMT. Till en början utvecklade SMT sina egna styrsystem men med tiden köptes styrsystem in från specialiserade styrsystemtillverkare. Efter ägarbyten och fusioner köptes 2004 SMTs svarvverksamhet av Storebro Machine Tools. SMT höll stora delar av verkstadsindustrin med medelstora och stora svarvar.

Hos CNC-svarvar som ersätter kamstyrda automatsvarvar, maskiner som matas från magasin med stångmaterial, förekommer det ofta en sekundär svarvspindel riktad i motsatt riktning mot huvudspindeln. Den sekundära spindeln kan föras mot huvudspindeln, gripa arbetsstycket och hålla det medan det sticks av från stången för att sedan dra ut det från huvudspindeln så att arbetsstycket kan bearbetas färdigt i den andra änden.

Det finns ett uttalande som alltid verkar sant och det lyder, just nu går utvecklingen så fort som den aldrig gjort tidigare. För CNC-tekniken verkar trenden vara att kunna göra mer och mer bearbetning i samma maskin oberoende av vilka bearbetningsmetoder som ska användas. Fler generella maskiner och färre specialmaskiner.

Fräsning

Fräsning är en spånavverkande bearbetningsmetod där verktyget är roterande och arbetsstycket stillastående. En sanning med modifikation, verktyget roterar men dess rotationsaxel ligger vanligtvis stilla medan arbetsstycket långsamt matas mot det roterande fräsverktyget. Denna rörelse kallas matningsrörelsen och brukas anges i millimeter per minut. Det bildas spånor i likhet med svarvning men det kan inte bildas långa spånor om inte man borrar med fräsen. Ett skär på fräsen gör en spåna under högst ett halvt varv som fräsen roterar så därför har man vid fräsning inte samma spånbrytningsproblen som vid svarvning.

Fräsverktygen som vanligtvis kallas fräsar är indelade i tre huvudgrupper, ändplanfräsar, pinnfräsar och valsfräsar.
De flesta pinnfräsarna har ganska liten diameter och har frässkär på sin mantelyta och ett litet skär för att plana ytan mot fräsänden. De är avsedda för att fräsa smala spår i arbetsstycket. Oftast har pinnfräsarna två eller fyra skäreggar på mantelytan men lite grövre pinnfräsar kan ha fler skäreggar. Eggarna går i spiralform så att eggen går i skär succecivt mot arbetsstycket. En del pinnfräsar har radiellt ställda skär på ändytan sä att de kan borra också. Pinnfräsar är tillverkade av snabbstål eller solid hårdmetall.
Valsfräsar har endast skäreggar på mantelytan och cylindriska valsfräsar användes tidigare för planfräsning. Numera används andra frästyper för att fräsa plana ytor. De var förr tillverkade av snabbstål. En underavdelning till valsfräsarna är profilfräsar. De används för att ta upp spår av bestämda utseenden i arbetsstycket. De används också för att tillverka kugghjul och då har de ofta skär av hårdmetall.
Ändplanfräsar var tidigare valsfräsar av snabbstål med ett litet skär på valsens ände liksom pinnfräsar. Nutida ändplanfräsar har vändskär av hårdmetall och bearbetar i huvudsak den plana ytan och i liten utsträckning vid fräsens periferi. De bearbetar plana ytor vinkelräta mot spindelaxeln och står för så gott som all planfräsning i verkstäderna numera.

Ändplanfräsar med hårdmetallvändskär.
Foto Sandvik Coromant.

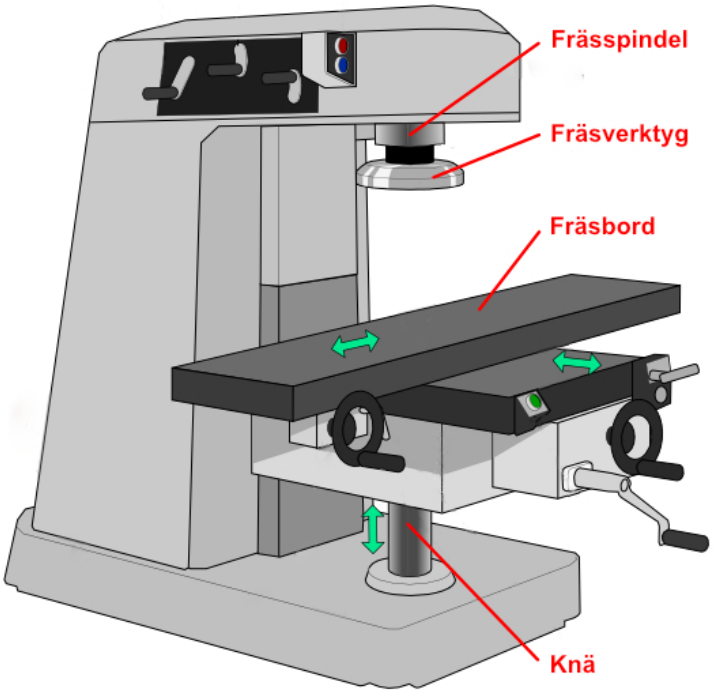
Profilfräs. Foto från Wikipedia

Pinnfräs. Foto från Wikipedia.

Valsfräs. Foto från Wikipedia.

Fräsmaskiner

Det finns två konstruktionsprinciper för konventionella (manuellt styrda) fräsmaskiner, horisontalfräsar och vertikalfräsar. Skillnaden mellan frästyperna är att horisontalfräsen har en horisontell spindelaxel och vertikalfräsen har en vertikal spindelaxel. I övrigt är maskintyperna lika, fräsarna har ett bord som arbetsstycket fästs på och det kan matas för hand eller maskinellt i längsled och i tvärled. Bordet vilar på ett knä som kan höjas och sänkas. På det sättet kan fräsen flyttas i tre vinkelräta riktningar i förhållande till



En skiss av en vertikalfräs Bild från Wikipedia.

En universalfräs riggad som en horisontalfräs. Fräsen har eldrivna bordrörelser och elektroniska mätskalor. På fräsbordet är en delningsdocka och en dubbdocka monterade. Foto från Wikipedia.

arbetsstycket men bara en åt gången om det ska bli någon noggrannhet i rörelsen. Vanligtvis flyttas arbetsstycket under bearbetningen medan fräsverktyget hålls stilla.

Arbetsstycket fästs vid fräsbordet med skruvar i T-formade spår som går längs med bordet eller kläms fast i ett maskinskruvstycke. Fräsverktygen fästs i en konisk verktygshållare som passar i spindelaxeln.

I en vertikalfräs fästs fräsverktyget så nära spindeln som möjligt för att få stabilitet i verktygsfastsättningen vilket minskar risken för vibrationer. Pinnfräsar och ändplanfräsar är de mest använda frästyperna i vertikalfräsar.

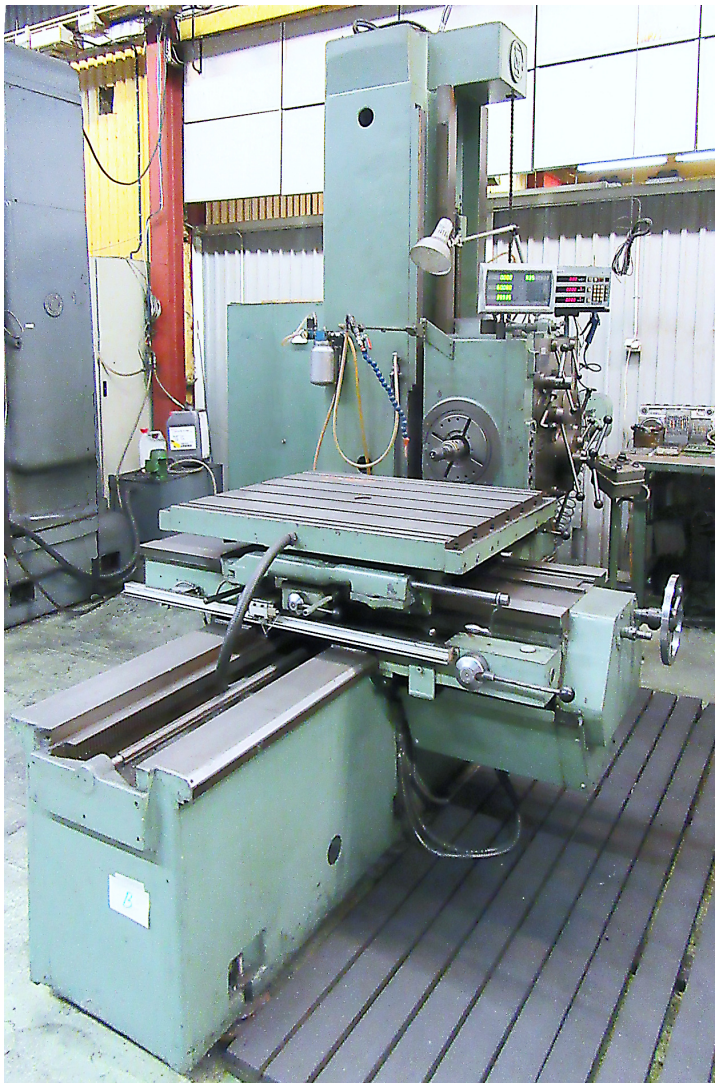
Horisontalfräsar har samma typ av fastsättning för fräsverktyg som vertikalfräsar, ett koniskt skaft som passar i frässpindeln. Samma typ av fräsar kan således användas också i horisontalfräsar. Ovanpå horisontalfräsen finns en kraftig arm med en lagring mitt för fräsens spindel. Lagringen är till för att bära upp en fräsboms fria axelände i vars andra ände det sitter en frässpindelkona. På fräsbommen fästs en eller flera valsfräsar och profilfräsar. Se på fotot till vänster hur det är ordnat.

Universalfräsmaskiner är egentligen inte en tredje typ av fräsmaskiner utan i grunden en horisontalfräsmaskin som användaren enkelt kan rigga om till en vertikalfräs. Enkelt men inte lätt, man behöver ordentlig lyfthjälp. Den överliggande armen tas bort och ett vinklat spindelhuvud monteras på frässpindeln och skruvas fast på fräsmaskinen. Det vinklade spindelhuvudet syns längst uppe till vänster på bilden till vänster.

Delningsdocka, annat namn är delningsapparat, är en utrustning för att vrida ett arbetsstycke i bestämda vinklar eller att dela upp det 360-gradiga varvet i jämna steg. Detta var tidigare ett helt nödvändigt hjälpmedel då kugghjul frästes kugglucka för kugglucka med hjälp av en profilfräs. Delningsdockan bultas fast på fräsbordet och arbetsstycket fästs med en chuck i delningsdockan eller monteras mellan dubbar. Detta är nu ett ovanligt sätt att tillverka kugghjul, numera fräser man med spiralformade fräsar mot ett roterande kugghjulsämne. När fräsen gör ett varv rör sig ämnet vinkeln mellan två kuggar.

Ett annat hjälpmedel för konventionella fräsmaskiner är rundmatningsbord. De bultades även fast i fräsbordet och fick ett arbetsstycke att göra en vridande eller roterande rörelse då man vred på en vev. I allmänhet var det omöjligt att koppla in en maskinell matning. Rundmatningsbord kunde användas vid fräsning av kortare cirkulära spår eller vanligare för att indexera till lägen där spår eller hål skulle placeras. På moderna CNC-fräsar och fleroperationsmaskiner är styrda rundmatningsbord nästan en nödvändighet.

Arborrverk

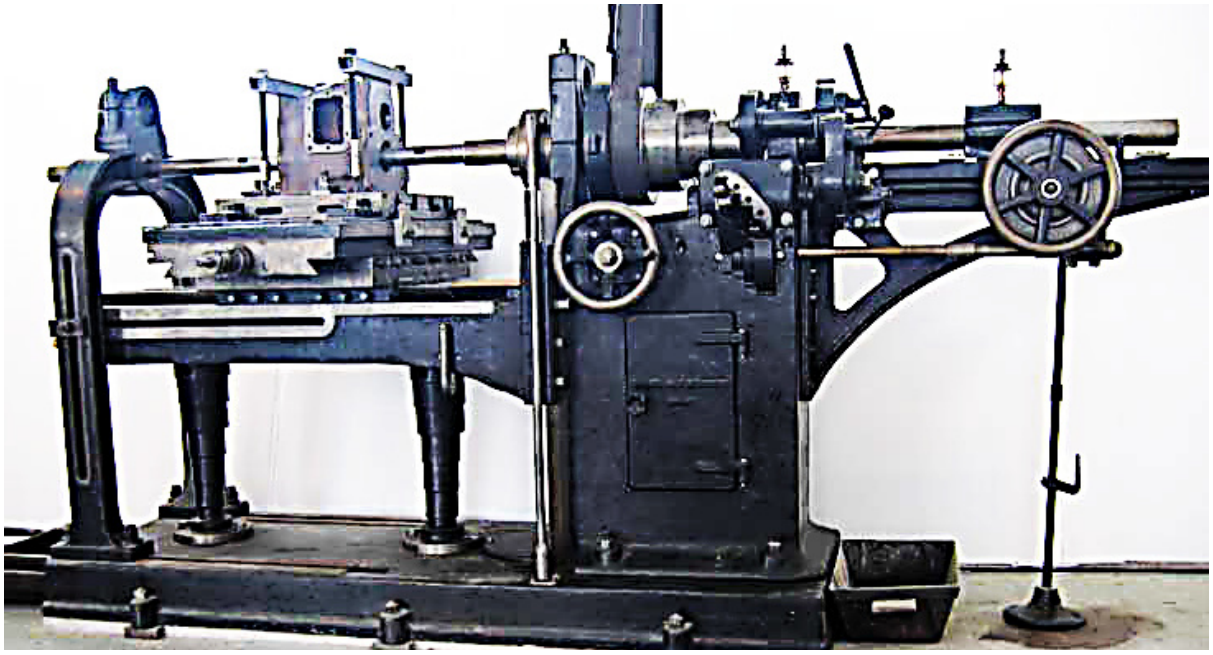


Ett moderniserat arborrverk med elektroniska mätskalor.
Foto från Wikipedia.

Ett arborrverk, eller horisontalborrmaskin som det kallas emellanåt, brukar eller brukade oftare förr användas för att öka diametern på ett hål samt att göra flera hål på rad koncentriska med varandra. Till exempel att skapa lagringar för vevaxlar i motorblock eller att göra lagerpassningar för axlar i växellådor. Naturligtvis kan man borra med ett arborrverk men en vanlig borrmaskin är mycket effektivare.

Arborrverket består av en horisontell spindel med ett hål för en genomgående borrstång som roterar med hjälp av spindeln. På borrstången monterades ett eller flera skårverktyg som bearbetade hålet eller hålen. Borrstången matades fram genom hålen. Förr var det vanligt att använda ett lager vid borrstångens fria ände då man inte hade så hårda och motståndskraftiga material att tillgå för borrstängerna.

Arborrverk har i stor utsträckning ersatts av andra maskiner sedan NC- och CNC-tekniken blivit dominanta inom verkstadsindustrin. Särskilt har fleroperationsmaskiner tagit över mycket av arborrningen .



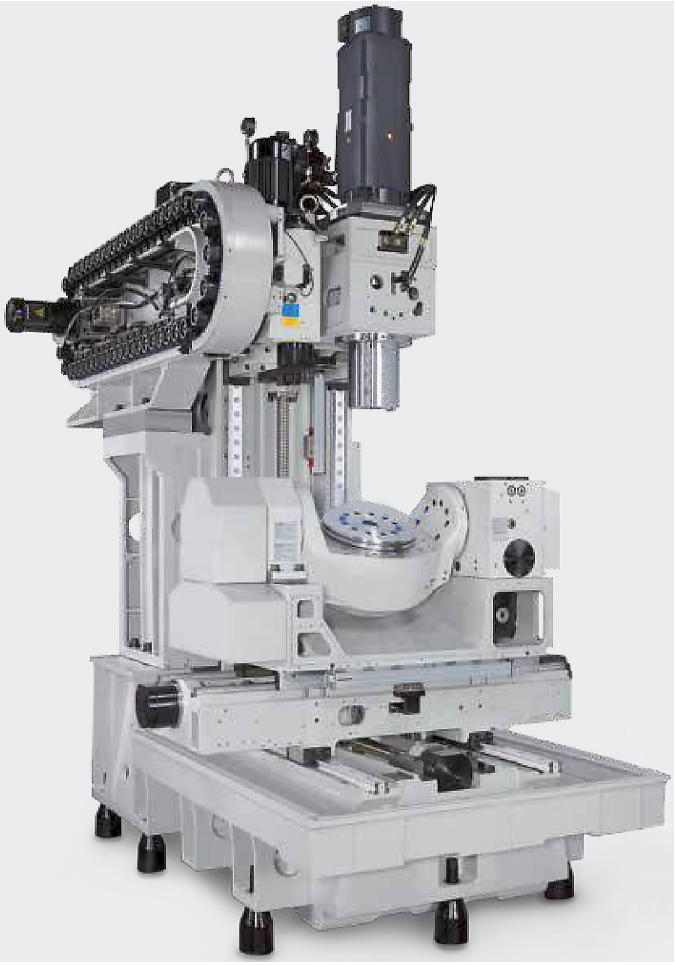
Ett äldre arborrverk riggat för bearbetning av lagerytor för en axel i en växellåda.
Foto Eskilstuna Stadsmuseum.

Numeriskt styrda fräsmaskiner

Trots att mycket utvecklingsarbete lades på numeriskt styrda fräsmaskiner i Sverige på SAAB i Linköping från 1953 och framåt blev det inga berömda NC-fräsar. En prototyp byggdes 1956 för rätlinestyrd tillverkning av av flyplansdetaljer och användes fram till 1986. Numeriskt styrda svenska fräsmaskiner blev inte samma framgångssaga som svenska SMT-svarvar, rätlinjestyning var ingen stor grej.

Ett amerikanskt bolag, Cincinnati Milling Machine Company och efter 1970 Cincinnati Milacron började utveckla numeriskt styrda fräsmaskiner i slutet av 1950-talet. Fräsmaskiner var deras specialitet, redan i mitten av 1920-talet var de USAs största fräsmaskintillverkare. Under 1970-talet tillverkade de och sålde allt större och dyrare NC-fräsar och senare också CNC-fräsar. De såg inte att japaner sålde mindre och billigare maskiner och de såg inte heller hur elektronikföretag utnyttjade mikroelektroniken för att göra billigare och bättre styrsystem. Själva hade Cincinnati Milacron en förkärlek till egenutvecklade styrsystem. Gradvis tappade de sin marknadsledande position.

NC-fräsarna förändrades till mikrodatorstyrda CNC-fräsmaskiner med kringutrustning som styrs av samma dator. Maskinerna fräser inte bara utan de kan borra och gänga också. Spindeln kan lutas, fräsbordet kan lutas, styrbart rundmatningsbord tillkom och verktygsmagasin som roterande skivor eller kedjor med plats för flera tiotals verktyg som placerades i frässpindeln av automatiska verktygsväxlare placerades på fräsmaskinen. Det tillkom extra små arbetsbord kallade paletter som kunde riggas utanför maskinen och automatiskt lyftas in i maskinen när föregående detalj är färdigbearbetad. Amerikaner kallar sådana maskinsystem för machining center (maskinbearbetningscenter) medan de kallas fleroperationsmaskiner i Sverige. Maskinoperatören har mycket annat att göra än att övervaka själva bearbetningen och det finns styrsystem som sänder ett SMS till operatörens mobiltelefon om maskinen stannar oplanerat. Fleroperationsmaskiner har oftast vertikal spindelaxel och liknar vertikalfräsar.

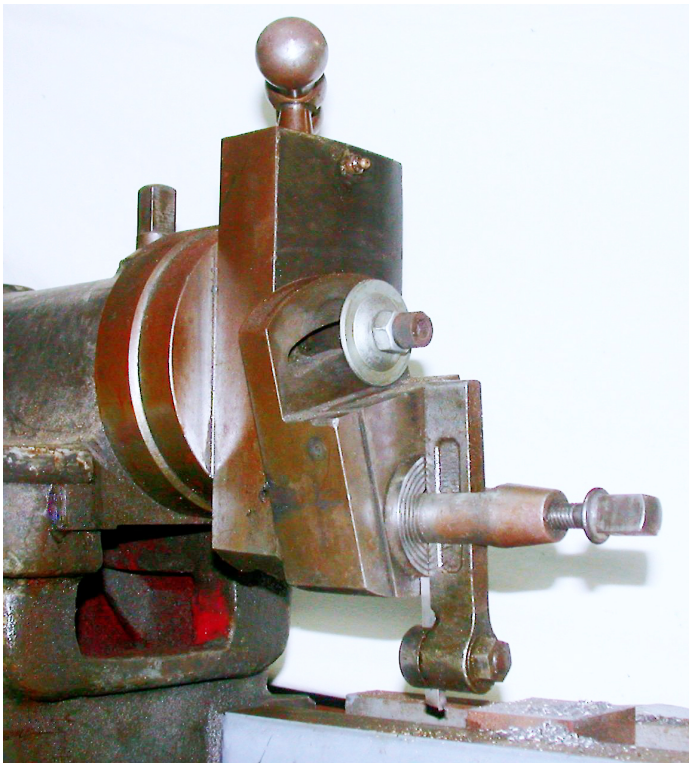


Fleroperationsmaskin med vertikal spindel, lutningsbart rundmatningsbord och verktygsmagasin uppe till vänster. Foto Quaser Machine Tools Inc.

Nästan likadan fleroperationsmaskin som på bilden till vänster fast påklädd med en elegant plåtkåpa, fullt färdig att placera ut i en verkstad. Alla moderna maskiner, oberoende av fabrikat, ser nästan ut på samma sätt. Med luckan stängd kan fräsningen med yrande spånor och stänkande skärvätska demonstreras för en besökare bakom ett fönster. Operatören behöver vanligtvis inte stå och titta in på bearbetningen. Ofta har han andra arbetsuppgifter. Foto Maskin A. Fransson AB.

Hyvling

Hyvling är också en spånavverkande bearbetningsmetod och en av de gamla metoderna att bearbeta till en plan yta. Ett skärverktyg liknande ett svarvstål förs rätlinjigt över arbetsstycket och skär bort material i spånform. Processen är långsam och konkurrerades ut när fräsmaskiner och fräsverktyg började användas. Metoden ger dock väldigt plana ytor och den låga skärhastigheten ger mycket liten värmeökning i arbetsstycket och liten risk för värmedeformation av arbetsstycket så hyvling används även idag, särskilt för stora arbetsstycken, fast endast i ett fåtal verkstäder.



Hyvelstålets fastsåttning i en kipphyvel.
Foto Glenn McKechnie.

Kipphyveln är den äldsta och den minsta hyveln samt den vanligaste typen i gamla verkstäder. Den består av horisontala gejdrar som en slid rör sig fram och tillbaka driven av en excentermekanism. I änden av sliden sitter en verktygshållare med justeringsanorningar samt ett hyvelstål. Framför sliden är ett arbetsbord där arbetsstycket fästs och som matas ett litet stycke i sidled vid varje slag sliden gör. Vid nästa slag med sliden tas en ny spåna med hyvelstålet . Den maximala slag-längden för kipphyvlar är omkring 3 – 4 deci-meter.

Hyvelstålhållaren är monterad på en liten platta som är rörligt upphängd i plattans överkant. När sliden går tillbaka viks hyvelstålet upp och slits inte onödigt mycket av att ligga an mot arbetsstycket.

Troligtvis har kipphylarna tagits ur produktionen vid alla verkstadsföretag.

En stickapparat liknar kipphyveln och används för att åstadkomma ett kilspår invändigt i ett cirkulärt hål. Kilar läggs in i rektangulära spår som finns i axelhålet på ett hjul, kugghjul eller en remskiva och motsvarande spår i axeln. Kilen, en stålbit med rektangulärt tvärsnitt ligger till hälften i axelspåret och till hälften i hjulspåret och kopplar axel- och hjulrotation med varandra även om hjulet kan röra sig axiellt utefter axeln. I stickapparaten monteras ett så långt hyvelstål att det når genom axelhålet längs med slagriktningen och hyvelskäret slipas i änden av hyvelstålet. Enstaka kilspår tas idag upp med stickapparat medan serier beabetas med dragbrotschar.

Det finns en annan typ av hyvlar som forfarande används i verkstäder. De kallas bordhyvlar och är avsedda för större arbetsstycken med längder av 20 meter eller mer och bredder upp till ett par meter. Det är väldiga kolosser som verkar outslitliga och finns kvar för att de skapar raka ytor som ingen annan maskin klarar av. Maskinbord med arbetsstycket åker på prisor och drivs med kugghjul och kuggstång medan verktygshållare är monterad i en portal. Sidmatningen görs med hyvelverktyget. Det förekom också bordhyvlar där portalen gjorde hyvelslaget och arbetstycket låg stilla.

Bordhyvlar användes förr för sina goda egenskaper för att hyvla prismorna på verktygsmaskiner och för tillverkning av planskivor. En verktygsmaskins noggrannhet är beroende av att prismorna är helt raka och parallella. Forna dagars tillverkning i verkstädern var också beroende av planskivor som användes vid ritsning och kontrollmätning av de färdiga detaljerna. Alla mått togs från arbetsstycket mot planskivans yta. Vid ritsningen märktes ämnet upp med inställningspunkter för bearbetningen.

Både verktygsmaskinfundament och planskivor gjordes av gjutjärn som grovbearbetades, därefter ställdes de grovbearbetade delarna utomhus på verkstadsgården i några år för att värmeväxlingarna skulle utjämna de spänningar som fanns efter gjutningen. Därefter togs godset in i verkstaden, prismor och planskivor

finbearbetades varvid man tog bort några tiondels millimeter material. Prismorna skavdes, det vill säga men skrapade bort en tusendels millimeter tjocka metallspånor lite här och var för att få smörjolja att häfta bättre mot metallen. Även de nytillverkade planskivorna skavdes. Man målade märkbläck på en gammal planskiva som sedan lades på den nya. Om skivorna gnuggades mot varandra blev det märkbläckfläckar på den nya skivan där ytan var lite högre än omgivningen. Fläckarna skavdes bort och proceduren upprepades tills det praktiskt taget blev bläckfläck över hela ytan. Proceduren krävde riktigt yrkesskickliga verkstadsarbetare men tog ändå förfärligt lång tid.

I den mån det behövs planskivor i verkstadsindustrin används skivor av diabas, svart granit ett magmatiskt material, eller granit. Båda materialen är väldigt hårda och slitstarka samt motståndskraftiga mot det mesta. Behoven av planskivor har minskat kraftigt sedan datoriserade mätdon har blivit allmänna. De kan bygga virtuella referensplan utifrån mätningar som görs på detaljen.

En bordhyvel i drift på Karlskronavarvet år 1957. Foto Marinmuseum, Lennart Bergqvist.

Sågning

Även om sågning är en spånavverkande bearbetning räknas den sällan upp om man frågar om vilka bearbetningsmetoder som används i verkstaden. Trots detta förekommer mycket sågning i verkstäderna. De flesta köper sitt råmaterial i form av stångmaterial, profiler eller ämnesrör som behöver kapas till ämnen för bearbetningen i svarvar och fräsmaskiner. De flesta sågarna som är i drift idag arbetar helautomatiskt. Stångmaterialet läggs i ett magasin varifrån det tippas ner på en rullbana som leder till sågen. Stången matas fram en bestämd längd, kläms fast vid sågen och kapas. När programmerat antal bitar räknats stoppar sågningen automatiskt. De automatiska sågarna behöver vanligtvis ingen tillsyn alls. Halvautomatiska sågar

En halvautomatisk bygelkapsåg. Foto från Wikipedia.

Halvautomatisk kap med cirkulär sågklinga av snabbstål. Foto Pedrazzoli AB.

Manuell bandsåg för metall. Foto Bomar Saws, Brno.

verkställer själva sågningen automatiskt, allt annat måste genomföras manuellt. För manuella sågar görs allt manuellt, även att hålla in tillknappen och att pressa sågbladet mot arbetsstycket.

Den äldsta typen av maskiner för sågning av metaller är bygelkapsågen som har en sågbygel med fram- och återgående rörelse. I bygeln spänns ett sågblad ursprungligen av härdat kolstål fast. Senare gjordes bladen i bi-metall, en bladrygg i segt stål och tandspetsar i snabbstål vilket gav bladen större livslängd. Bladet är tandat för att endast skära åt ett håll och därför måste sågbygeln lyftas en smula för att skydda tandningen under bygelns återgångsslag. Sågbladen som används har i allmänhet tjockleken 2 – 2,5 millimeter.

Under lång tid var bygelsågen den enda metallkapmaskinen men man sökte alternativ. Den var lite långsam, halva arbetstiden var ju sågbladet i luften utan att skära. Med långsam ämneskapning krävdes väldigt stora mellanlager för kunna hantera de efterföljande maskinernas alltmer ökande produktionskapacitet.

Med cirkulära sågklingor av snabbstål kom cirkelsågar in på arenan. De fungerar ungefär som en vedkap men har betydligt lägre skärhastighet. En sågskiva omkring 300 millimeter i diameter till en metallkap roterar med cirka 70 varv per minut, lite drygt ett varv per sekund. De kapar de betydligt snabbare än bygelkapsågar. Skivorna brukar vara 2,5 till 3 millimeter tjocka. Med en 300 millimeters skiva kan stänger med upp till drygt 100 millimeters tjocklek kapas.

Metallbandsågar är högsta mode just nu . En flexibel slinga av stålband med 0,9 till 1,5 millimeters tjocklek bärs upp och drivs av två stora hjul. Bandhastigheten (skärhastigheten) ligger omkring 50 meter per minut för bi-metallband men olika material kräver vitt skilda hastigheter. Vissa sågblad har hårdmetall i tänderna och det tillåter högre bandhastigheter men det ger också högre temperatur till arbetsstycket. Eftersom bandet inte är så styvt användes variation i tanddelningen (olika avstånd mellan tänderna) på samma sågblad för att minska risken för vibrationer. Tänderna är skränkta, varannan tand lutar lite åt vänster och varannan åt höger, så att sågspåret blir lite bredare än bladet och bladet går fritt i spåret.

Det är vanligt att kyla sågningen med skärvätska.

Bilderna på den här sidan visar maskinerna bättre än foton på helautomatiska maskiner som oftast är helt inbyggda i ett plåthölje.

Borrning och brotschning

Spiralborr för metall. Foto från Wikipedia.

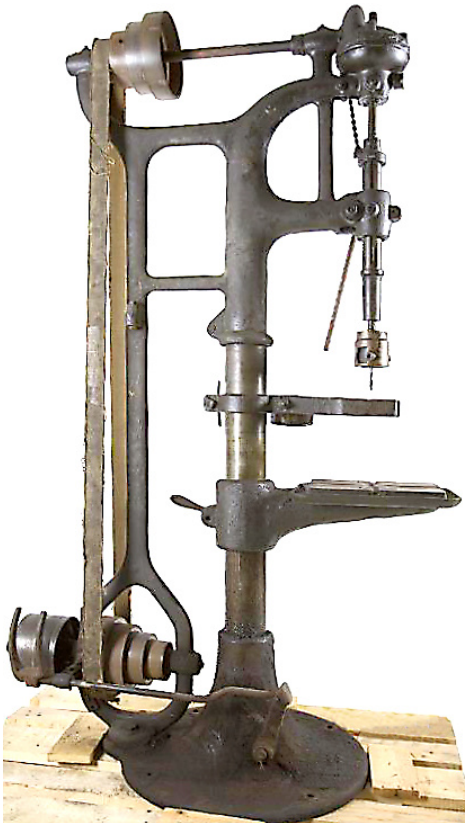
Borrning i metaller görs i nästan alla fall med spiralborrar. De har i spetsen två skäreggan och i centrum ett tvärskär. Två spiralformade spår som för ut spånorna från skäreggarna och i kanterna av spåren två styrfaser som dels hjälper till att centrera borren i hålet, dels jämnar till hålets periferi. I skaftänden finns antingen en standardkona, en så kallad morsekona, för att fästa i borrmaskinspindeln eller ett cylindriskt skaft för att fästas med en chuck i borrspindeln. Borrar med liten diameter har endast cylindriskt skaft.

Spiralborrar, i varje fall de av bättre kvalitet, tillverkas av snabbstål och kan slipas om ganska många gånger om man är noggrann. Skäreggarna måste ha samma vinkel och tväreggen måste ligga exakt centrerad annars kommer hålet att bli mer trekantigt än runt.

Klenare spiralborrar tillverkas av massiv hårdmetall för borrning i starkt slitande material. Grövre borrar kan också använda hårdmetall men i sådant fall har de en stålkropp och skären består av vändskär av hårdmetall.

Borrmaskiner var troligen de första verktygsmaskiner som tillverkades för att bearbeta hårda metaller. Redan på 1600-talet började man borra loppen i kanoner och musköter med så kallade borrkvarnar som drevs av vattenhjul, ox- eller hästvandringar.

Pelarborrmaskin. Foto från Wikipedia.


Pelarborrmaskin från den andra halvan av 1800-talet. Foto Malmö Museer, Matilda Thulin.

Modern radialborrmaskin. Foto från Wikipedia.

Pelarborrmaskiner och radialborrmaskiner är de enda generella typer som har någon betydelsfull användning inom verkstadsindustrin, möjligtvis med undantag av pelarborrmaskinens lillebror bänkborraskinen. Bänkborren är en mindre borrmaskin avsedd för klenare borrar och används rent manuellt. Både pelar- och radialborrmaskiner kan användas med mycket grova borrar med stora borrkärnor och då också stora tväreggar som kräver mycket stora borrtryck. De moderna maskinerna har då utrustats med maskinell borrmatning men därutöver helt manuell styrning. Pelarborrmaskinen har i allmänhet ett ganska litet avstånd mellan pelaren och borrspindelaxeln och därför begränsas storleken på arbetsstycket. Radialborrmaskiner tar han om de riktigt stora och tunga arbetsstyckena. och maskintypen används fortfarande ganska mycket men då i företag som specialiserat sig på stora arbetsstycken.

Mycket borrarbete har överförts till andra maskintyper som fräsmaskiner, fleroperationsmaskiner och även till svarvar så att det har inte funnits någon anledning att förse borrmaskiner med numerisk styrning. Automation av borrning har lösts på annat sätt.

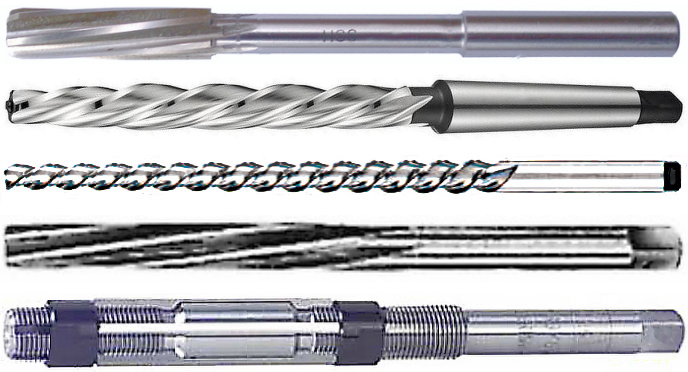
Arbetsstycket kläms fast i en fixtur som har försetts med små borrenheter, en för vart hål som ska borras. Borrenheterna drivs av små motorer, oftast tryckluftdrivna, med en fast utväxling men viss variation av spindelvarvtalet kan göras genom att ändra lufttrycket. Borrmatningstrycket och spindelåtergång sköts med en i borrenheten inbyggd tryckluftcylinder. Vanligtvis läggs arbetsstycket i fixturen, låses fast och matas ur fixturen med hjälp av tryckluftautomatik.

Exempel på en pneumatiskt driven borrenhet för inbyggnad. Foto från Wikipedia.

Ibland behövs en bättre kvalitet på hål som borrats med vanliga spiralborrar, högre måttnoggrannhet, finare yta eller bättre cylindricitet. Då borras hålet med lite mindre diameter, storleksordningen ett par tiondels millimeter mindre än det tänkta hålets diameter. Sedan finbearbetas hålet med en brotsch.

Brotschen har skär utmed den runda ytan som består av en äntringskona i spetsen och därefter en cylindrisk del. Med äntringskonan skärs den största delen av materialet bort medan med den cylindriska delen finjusterar hålet och brotschen styrs upp av hålet. Det finns både raka brotschar, det vill säga med raka skär, och spiralbrotschar med spiraliserade skär. Observera att spiralbrotschar har motsatt spiralisering mot spiralborrar. Detta för att hindra brotschen att mata fram sig själv, brotschar skall pressas genom hålet.

En skärpunkt har alltid en motsvarande skärpunkt på andra sidan av brotschens diameter men delningen mellan skären är ojämn för att brotschen inte skall skorra, benämningen för vibrationer under brotschning.



Överst en cylindrisk maskinbrotsch, under cylindrisk maskinbrotsch med morsekona som skaft, konisk maskinbrotsch, cylindrisk handbrotsch och en ställbar handbrotsch. Foton från Wikipedia.

Det finns två typer av brotschar, för handmatning och maskinmatning. Handmatningsbrotschar har längre cylindrisk del som ger bättre styrning mot hålet vilket kan behövas när darriga händer är inblandade i verksamheten. Det finns ett enkelt sätt att skilja brotschar för handmatning från dem för maskinmatning. Maskinmatningsbrotschar har ett helt runt skaft medan handmatningsbrotschar har en fyrkantig skaftände till att fästa ett svängjärn i.

Koniska hål brotschas ofta på grund av att ytan i hålet blir jämnare, vinkeln på konan blir noggrannare och hålet blir rakare. Faktorer som är viktiga när konans ändamål är att centrera skaft och hål med varandra.

Det är inte bara cylindriska och koniska hål som brotschas. Ett runt hål kan bearbetas till ett kantigt hål med en operation som kallas dragbrotschning. Dragbrotschen är ett verktyg som i ena änden är cirkulärt och passar i det hål som ska få sin form förändrat. I den andra änden har verktyget det önskade hålets form. Mellan ändarna ges verktyget en form som gradvis förändras från runt till kantigt. I dragbrotschen slipas hyveltänder ut som var och en ska hyvla ut en tunn spåna liksom tänder i ett sågblad när brotschen dras axiellt genom hålet.

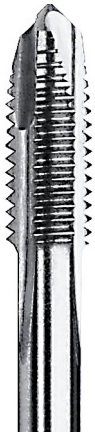
Med dragbrotschning kan man göra kantiga hål, invändiga stjärnor och kuggprofiler, kilspår eller splines. Splines är en ersättning för kilspår och kilar för överföring av rotationsrörelse mellan en axel och ett hjul även om hjulet kan röra sig utmed axeln. Splines består av flera uppfrästa spår i axeln och ett motsvarande hål i hjulet. Splines är bättre än kilspår för att vridkraften fördelar sig på flera ytor och profilen behöver inte göras så hög.

Gängning

Skruvar har varit kända sedan länge, redan på 200-talet före Kristus användes skruvar i en halvcirkelformad ränna för att lyfta vatten. Betydligt senare användes handskurna träskruvar och handfilade metallskruvar som kraftgivande element i oliv- och vinpressar. I mitten av 1400-talet använde Johannes Gutenberg en skruvpress som tryckpress och det finns antydningar om att han använde skruvar och muttrar för hålla ihop sina tryckpressar. Annars introducerades skruvar och muttrar för fastsättningselement mycket senare. År 1741 presenterade John Smeaton och Henry Hindley en metod för att tillverka gängade träskruvar i dåtiden mycket enkla svarvar. När supportsvarven började utvecklas så sattes det in ledarskruv och en delbar mutter på släden. Via utbytbara kugghjul kopplades ledarskruvens rotation till svarvspindeln det var då möjligt att få praktiskt taget vilken gängstigning som helst. I början av 1800-talet började maskinskruvar att produceras i England och en massproduktion av skruv och mutter startade.

Alla skruv- och muttertillverkare använde sina egna skruvdiametrar och gängstigningar vilket försvårade livet för köpare av skruv och mutter, för att inte tala om maskinreparatörer. Skruv och mutter måste skaffas hos samma tillverkare. Problemet löstes 1841 av Joseph Whitworth som formulerade en standard för gängor, skruvdiameter, gängstigning och gängprofil, allting måttsatt i tum. Whithworth fick åtskillig hjälp av Krinkriget 1855, engelska amiralitetet och en beställning av 90 motorer för kanonbåtar. Motordetaljerna skulle levereas av många olika verkstäder som alla tvingades använda Whitworts gängsystem. Nittio dager senare stod alla motorer färdigmonterade och fullt funktionsdugliga, en bedrift som slog världen med häpnad. Resultatet blev att Whitworth-gängor kom att användas över hela världen.

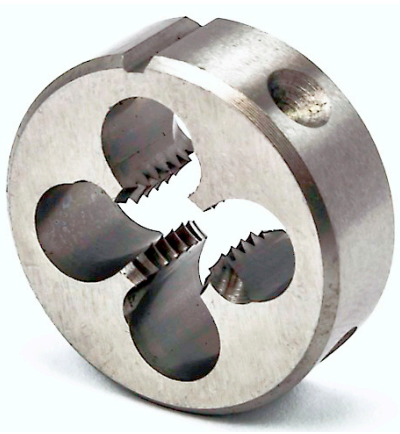
Det blev så småningom dock lite kvirrande i stora delar av världen där tum-mått skulle användas kombinerat med de mer vanliga millimetermåtten så det utvecklades standarder för metriska skruvar och muttrar. Det slutade med att ISO 1947 fastslog en standard (M-systemet) för gängor, gängstigningar, gängprofil samt även mått på skruvhuvuden, muttrar och nyckelvidder. Motsvarnade modernisering gjordes också på tum-gängor



Maskingängtapp för genomgående hål.
Foto från Wikipedia.

Maskingängtapp för bottenhål.
Foto från Wikipedia.

Handgängtapp, mellantapp.
Foto från Wikipedia.



Gängsnitt för utvändiga gängor, används mest för handgängning.
Foto från Wikipedia.

och Unified-systemet (UN-systemet) och skruvdiametrar och gängstigningar behölls utom för Whitworth ½” och UNC ½”, Whitworth har 12 gängor per tum och UNC 13 gängor per tum. Det går till nöds att para ihop alla utom just Whitworth och UNC ½”, då skär skruv och mutter ihop.

Gängtappar är skruvar av verktygsstål som har tre längsgående uppfrästa spår vilkas ena kant har slipats så att gängornas spetsar skär bort material från hålet och en gänga bildas i hålet. Större gängtappar har mer än tre uppfrästa spår. Handgängtappar som vrids runt för hand består av satser om tre tappar, en förtapp som egentligen bara ger antydningen av en gänga, en mellantapp tar fram gängtopparna och en färdigtapp som skär fram gängbotten. Detta för att det inte ska krävas så stor kraft att gänga. Dessutom är tapparna långa så de styr bättre och inte vinglar under gängningen. Maskingängtappar för genomgående hål har första delen av skäret vinklat framåt så att spånorna styrs framåt och ut ur hålet så att de inte kommer i vägen för gängtappen. Maskingängtappar för bottenhål måste styra spånorna bakåt så de har stora spiralformade spår som matar spånorna bakåt.

Utvändig gängning av axeltappar görs mest i CNC-svarvar och det är enkelt, diameter och gänglängd samt gängstigning anges i programmet och stysystemets dator kopplar samman spindelvarvtalet med svarvstålets matninghastighet för att ge rätt stigning. På samma sätt görs en invändig gängning om hålet är stort nog att rymma en svarvbom, det vill säga en stång som sticks in i hålet och håller fast gängstålet.

Om innergängan inte kan göras på det sättet kan gängan utföras med gängtapp i en CNC-svarv eller en CNC-fräs och synkroniserad gängning. Gängtappen matas in i arbetsstycket och spindeln roterar och när tappen nått tillräckligt djupt reverseras spinderrotationen och tappen matas ut. Matningshastigheten programmeras till samma antal millimeter per spindelvarv som gängtappens gängstigning.

Maskingängning med gängtapp kan även göras med med lösa gängenheter liknande borrenheterna som beskrivits i föregående kapitel. De har oftast elmotordrivna spindlar eftersom de kan reversera rotationsriktningen snabbare. Arbetssättet är följande: spindelmotorn startas och gängtappen matas mot hålet och tappen börjar skära gängan, när tappen kommit tillräckligt långt reverseras spindeln och tappen matas ut.

De viktigaste och flitigast använda konstruktionselementen inom verkstadtekniken, skruvar och muttrar, produceras i enorma mängder och därför har man arbetat mycket hårt för att samtidigt minska kostnad och tillverkningstid samt höjt kvaliteten. Man utgår från grovt trådmaterial som kallpressas. Kallpressningen ger en bättre hållfasthet och mindre materialspill än att forma skruvar genom spånskärande bearbetning. För skruvar stukas ena trådänden för att forma skruvens huvud i flera pressningar och sedan stansas huvudet ut om skruven ska ha sexkanthuvud. Därefter rullas skruven under högt tryck mellan två plana ytor med infrästa gängprofiler tills gänga präglats in i skruven. Mutterämnena pressas i en sexkantig form och ett hål stansas i mutten. Hålet gängas med gängtapp. Efter bearbetningen härdas skruv och mutter varefter de kan förnicklas eller förzinkas elektrolytiskt, fosfateras eller lämnas obehandlade.

Slipning

Slipning är en form av spånavskiljande bearbetning som i de flesta fall utförs med roterande slipskivors periferi. Slipskivorna har slipmedel som består av hårda och spröda korn. Dessa korn hålls samman av ett mjukare bindemedel. Slipskivor med stora slipkorn avverkar material snabbare och finkorniga slipskivor ger en finare yta på arbetsstycket. Slipdjupet är vanligen blygsamt endast någon eller några hundradels millimeter så att arbetsstycket bör vara väl bearbetat innan det hamnar i en slipmaskin. Slipskivan skärps, eller som man säger rivs, genom att då den roterar och en diamant eller en roterande skärprulle trycks mot skivytan och förs i sidled. Slipkorn i skivytan krossas delvis och bildar då små vassa skäreggar som skär små spånor ur arbetsstycket vid slipningen.

Material i slipkornen för slipning kan vara diamant (ovanligt men används för hårdmetall), borföreningar samt berylliumoxid för hårdmetall, aluminiumoxid (Al_2O_3 kallad korund), kiselkarbid (SiC) och smärgel (ett mineral som innehåller korund, järnoxid och kvarts).

Slipning genererar så mycket friktionsvärme att luftkylning inte är tillräcklig, därför används kylvätska. Tre olika är vanliga, vatten, oljeemulsion i vatten och ren olja. Vatten kyler bäst och olja kyler sämst men oljan minskar friktionsvärmen mellan slipskiva och arbetsstycke så mycket att det inte behövs så god värmetransport från slipområdet och därför är ren olja tillfyllest. Liksom i övrig spånavverkande bearbetning

är oljeemulsion (cirka 4 – 10 % olja) i vatten ett bra alternativ för bearbetningen men ett besvär när vätskan är uttjänt.

En planslipmaskin. Foto från Wikipedia.

Slipning har två huvudområden, planslipning och rundslipning. En planslipmaskin har ett fram- och återgående arbetsbord med en tvärmatning som automatiskt flyttar bordet ett stycke i sidled för varje fram och återgående slag. Det gör slipningen halvautomatisk. Arbetsstycket hålls oftast fast vi arbetsbordet med kraftiga permanentmagneter som är skjutbara under bordsytan. I ett läge är magnetflödet kortslutet över permanentmagneterna och arbetsstycket är opåverkat och fullt flyttbart. I det andra läget kopplas permanentmagneterna till arbetsstycket genom poler på bordytan och ett arbetsstycke av magnetiskt material såsom stål kommer att häftas fast på arbetsbordet. Ska omagnetiska material planslipas får arbetsstycket låsas fast mellan ändstycken av stål.

Hos en rundslipmaskin ligger slipskivan tvärs mot arbetsbordet och bordet rör sig med en sidmatning som kan oscilleras eller hållas stilla. Arbetsstycket monteras mellan dubbar och roteras långsamt.

Rundslipning kan också genomföras dubbfritt genom en metod som utvecklades omkring 1870 även kallad centerlesslipning. Arbetsstycket ligger horisontellt stött av en slipskiva, ett sluttande plan nära slipskivan samt en reglerande slipskiva som roterar långsammare än slipskivan och därför bromsar arbetsstyckets rotation. Även om arbetsstycket är något kantigt får det ett cirkulärt tvärsnitt. Om reglerskivan snedställs erhålls en sidriktad kraft som kan mata en lång stång genom slipmaskinen. Centerlesslipning kan också användas för korta och smala axlar som inte kan slipas med dubbar. Man kan även profilera slipskivorna så att flera olika diametrar slipas på axlar samtidigt.

Slipning kan med specialkonstruerade maskiner användas till många ändamål, exempelvis kuggslipning samt tillverkning av svarv- och fräsverktyg.

Till slipning hör också finbearbetningsprocesserna läppning, hening och polering. Läppning till plan och fin yta på arbetsstycket gnuggas mot en roterande gjutjärnsyta medan mycket fint krossat slipmedel utblandat i olja som läppningsmedel tar bort ojämnheter på arbetsstycket. Läppning tar man också till när två rörliga

maskindelar ska anpassas till varandra. Delarna får glida mot varandra medan läppningsmedel tillförs. Hening är en metod att förbättra cylindriciteten, jämnheten och ytfinheten på hål och kolvstänger. Heningsstenar ligger an mot cylinderytan under det att cylinder eller heningsdon roterar och heningsstenarna rörs kraftigt i axialled. Stenarna består av en till fem hundradels millimeter stora ihopbundna slipkorn. Olja tillförs under bearbetningen. Det är en långsam och dyrbar process men den ger mycket goda resultat och den används ofta på hydraulcylindrar och kolvstänger för höga oljetryck. De slipmedel som används vid läppning och hening är desamma som till slipning men de är mycket mer finkorniga.

Vid polering används inga direkta slipskivor utan trissor av lump eller läder. På trissorna smetar men ut ett tunt lager av vax med mycket finkorniga och ganska mjuka slipmedel som järnoxid, tennoxid och krita (kalciumkarbonat). För högglanspolering används zinkoxid.

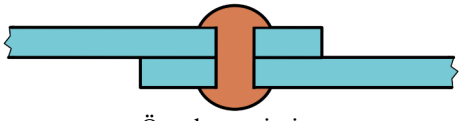
Sammanfogningsmetoder

Det är helt klarlagt att sammanfoga metallstycken av guld, silver och koppar med lödning har mänskligheten känt till i flera tusen år men att sammanfoga järn och stål visade sig vara besvärligare. Järnoxiderna var alltför svåra att bli av med. Den enda metod som fungerade var vällning, att värma upp smidesjärnet till strax under smältpunkten och tillföra flussmedel, sand eller borax, på fogytorna. Flussmedlet tillsammans med järnoxiderna övergår till en flytande slagg och när fogen slås samman sprutar slaggen bort. Fogen binds ihop av de glödande ytorna och den blir lika stark som det omgivande materialet om all slagg har pressats ut. Metoden sedan länge övergivits av industrin men praktiseras fortfarande av konst- och knivsmeder.

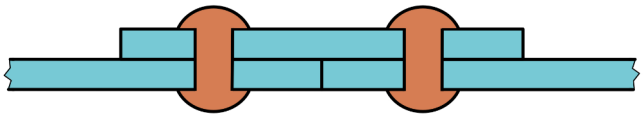
Nitförband

Nitning är en metod för att sammanfoga stålplåtar som är nästan lika gammal som plåttillverkningen. Små plåtstycken kunde vällas ihop men för större plåtar krävdes andra metoder. Den enda möjligheten som stod till buds på 1700-talet var nitning.

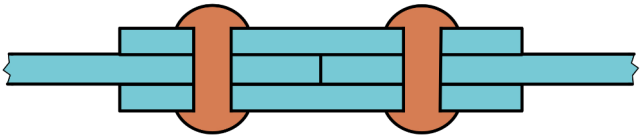
Varmnitning, den helt dominerande nitnings-metoden då man nitade stålplåt, görs genom att hål stansas eller borras genom plåtarna och en nitpojke stoppar in en smidesvarm (rödglödande) nit i ett hål. Niten är tillverkad av ett segt, relativt kolfattigt, rundjärn av stål med en ofta halvrund skalle i ena änden. Nitpojken trycker ett tungt mothåll mot nitskallen och nitaren på andra sidan plåten skyndar sig att smida ut den utstickande delen till en likadan skalle med en slägga eller en tryckluftshammare. När niten kallnar krymper den och klämmer ihop plåtarna kraftigt. Det är egentligen den stora friktionen mellan plåtarna som ger nitfogen eller som man säger nitväxeln dess styrka. Niten bidrar något genom sitt motstånd mot att klippas av. Vanligtvis brukar flera rader av nitar i ett nitförband. Nitväxeln är väldigt hållfast för dragning i plåten men väldigt svag för krafter längs med nitarna. Det är lätt att fläka upp en nitväxel. Nitarna är ju tillverkade av mjukt stål och skallarna förstörs lätt om drar i nitarna. Den enklaste och svagaste typen är överlappsnitningen och den kraftigaste har dubbla skarvplåtar.



Överlappsnitning.



Nitning med enkel skarvplåt.



Nitning med dubbel skarvplåt.

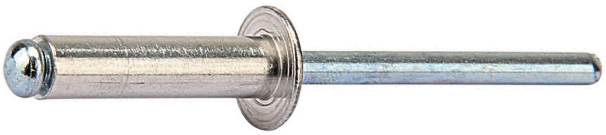
Nitning var länge, ända fram till 1941, den enda metoden att tillverka spant och fästa bordläggningen på större stålfartyg. Det andra världskriget och u-båtskriget på Atlanten gjorde att det förlorades många fler transportfartyg än som kunde tillverkas. Nålsögat var antalet stapelbäddar på amerikanska varv. Ett nitat fartyg behövde en stapelbädd under ungefär sex månader innan sjösättning. Då gick 18 varv samman och ett enkelt men fullt funktionsdugligt helsvetsat standardiserat transportfartyg konstruerades. Fartygstypen kallades Libertyfartyg. Fartyget byggdes också i sektioner som flottades till stapelbäddarna för att svetsas

ihop till färdiga fartyg där. Total byggnadstid var 40 dygn varav endast cirka 10 dygn på stapelbädd. Det bygggdes totalt 2 710 fartyg till största delen av kvinnliga svetsare. Männen var inkallade och stred som soldater i andra länder än USA. Rationaliseringen observerades av andra varv och därmed blev varven svetsverkstäder.

Nitning användes också för byggnader som hade stålstomme, allt från broar till Eiffeltornet och senare skyskrapor i New York. Även inom byggbranschen konverterade man till svetsning efter andra världskriget.

Flygplanstillverkare använder fortfarande nitning då det ger de lätta och starka förband som behövs men här arbetar man mer med kallnitning och aluminiumnitar. Vidare används ofta lättmetallegeringar som är svåra att svetsa. Framtiden för flygindustrin är mer inriktad mot kompositmaterial och limning.

Det finns en modern nittyp som är vida använd, kanske inte så mycket i storskalig produktion utan mer i reparation. Niten har många namn, avdelnit, blindnit eller vanligast popnit som egentligen är ett varumärke men det finns nu ett otal separata tillverkare.



Blindnit. Foto från Wikipedia.

Nitdelen av en blindnit består av ett rör i någon mjuk metall, exempelvis aluminium, koppar eller mjukt rostfritt stål eller mjukt stål. Röret är utkragat ganska mycket, det är nitens huvud. I röret är en splint av stål instoppad, en rund spik med en kullrig skalle med samma diameter som rörets ytterdiameter. Alldeles invid splintens skalle finns en brottanvisning på splinten.

När man skall nita stoppas splinten cylindriska ända in i en tång som griper tag i splinten och niten stoppas in i ett hål genom plåtarna som har samma diameter som nitens rör. När tången pressas ihop tar tången spjärn mot nithuvudet och börjar dra splintens kullriga skalle genom röret som expanderar. När expansionen når den undre plåten kläms plåtarna ihop och kula i splintens ände formar tillsammans med nitens rör det andra huvudet på niten. När pressen på tången ökas kommer splinten att brista vid brottanvisningen och splintskallen blir kvar i niten medan splinten lossnar från niten och kastas bort. Nitningen är då färdig.

Namnet avdelnit kommer från att niten delar sig och blindnit hänger samman med att monteringen och nitningen endast sker från den ena sidan av plåtarna. Blindnitar ger inte särskilt stark nitfog men den är fullt tillräcklig för att fästa paneler och kåpor på ett underliggande stativ.

Skruvförband

En liten skolflicka, sägs det, ombads att beskriva en skruv och en mutter och redovisade resultatet.
’En skruv är en rund pinne av något hårt som järn med en kantig klump i ena änden och en lång repa lindad kring den andra. En mutter är en kantig klump med ett hål som är rynkigt på insidan.’
Sanningshalten i anekdoten är inte bevisad men beskrivningen är god.

Ett skruvförband binder samman två eller flera maskinelement med skruv och mutter eller skruv och ett gängat hål i ett av elementen. En skruv består av en skruvskalle, en bit cylindrisk del och en gänga i den andra änden. Ett undantag är pinnskruven som har gänga i båda ändar. I vardagsspråk brukar ibland ordet bult användas på skruvar med stor diameter. Detta är inte korrekt för en bult ska vara ogängad. Om man gängar en bult blir den en skruv.

Gängan ska ha en stigning som är så liten att förbandet inte lossas om man drar i skruven, det vill säga att friktionen låser muttern. Det används ett otal olika gängsystem men det är två helt dominerande standardiserade som används inom maskinteknikområdet.

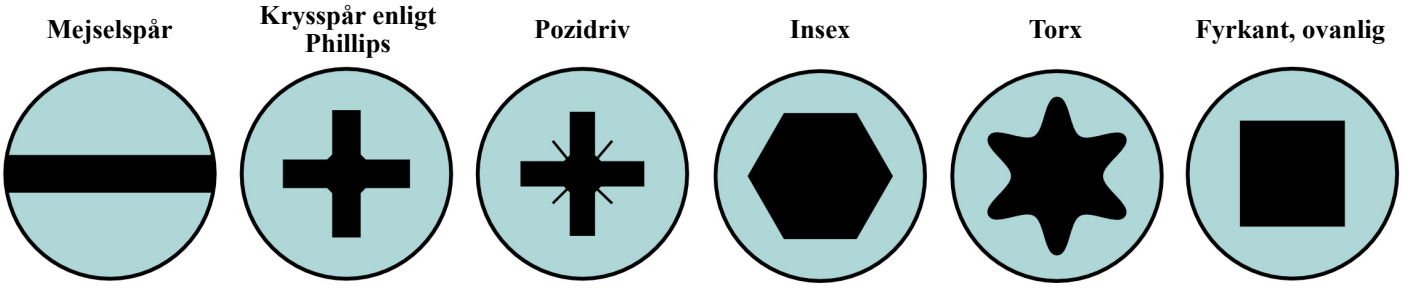
Den metriska gängan (M-gänga) som har skruvdiametrar i hela millimetrar för skruvar med diameter av 5 millimeter och större och gängstigningar angivna i decimaltal av millimeter. Det finns två underavdelningar grovgänga (normal M-gänga) eller fingänga som har mindre gängstigning och lägre gängprofil.

Den andra vanliga gängutforningen tum-gänga eller Unifiedgängen används i USA men också i den englskspråkiga världen. Unifiedsystemet anges skruvdiametrarna i heltalsdelar av tum ner till ¼”. Gängstigningen anges som antal gängor per tum. För skruvar mindre än ¼” anges skruvdiametern endast

med ett nummer och därefter kommer ett bindestreck och antalet gängor per tum. Dessa gängor går i Sverige under beteckningen nummergängor och är inte standardiserade här men förekommer ofta i samband med datorer. Liksom i M-systemet finns i Unifiedsystmet också grovgäng (UNC) som standardgänga och fingänga (UNF).

Om det kan tyckas förvirrat i gängändan på skruvar blir det ett veritabelt kaos om man betraktar den andra änden med skruvskallen. Från början fanns bara sexkantiga och runda skruvskallar. De sexkantiga kan dras med en nyckel och de runda hade ett smitt eller fräst skruvmejselspår tvärs över skallen. Sexkanthuvud fungerade bra med fasta nycklar som passade men så småningom började en svensk uppfinning, skiftnyckeln, användas och skruvskallarna blev av den användningen allt rundare. Den som var utrustad med skiftnyckel var inte riktigt välkommen till engelska verkstäder. Numera är skruvskallarna hårdare och problemet har nästan försvunnit.

Större har problemet varit med de mindre skruvarna som haft skruvmejselspår. Där måste både bladbredd och tjocklek i bladspetsen på skruvmejseln passa skruven för att inte skruvhuvudet ska skadas. Dessutom är det svårt att dra en sådan skruv maskinellt. Senare kom en mängd olika mejselgrepp mest för mindre skruvar.



Ett urval av mejselgrepp för runda skruvskallar. Figurer från Wikipedia.

År 1906 Patenterade PL Robertson den första skruv och mejselkombinationen som automatiskt centerade skruvmejseln till mitten av skruvhuvudet. Mejselgreppet var kvadratiskt med ett aningen koniskt hål. Bildirektören Henry Ford hade i mindre skala börjat använda Robertsons skruvsystem men när Robertson vägrade sälja tillverkningslicenser valde Ford Phillipsskruv i stället. Det anses också att Robertsons licensvägran påskyndade utvecklingen av Insexskruven.

I början av 1930-talet lansersde amerikanen Henry F Phillips den första krysspårsskruven som fick namnet Phillipsskruv. Den skruven var ett stort steg mot en enklare hantering av skruvar för bilindustrin, men inte tillräcklig stort. Vingarna på mejseln och spårflankerna på skruven var lite vinklade från varandra och när man skulle dra fast skruven måste mejseln tryckas mycket hårt mot skruven för att behålla mejseln i skruvspåret, annars gled mejseln upp och fördärvade skruvspåret. Denna svaghet eliminerades nästan helt med Pozidriv-systemet som patenterades 1962 och har större och mer parallell anliggningsyta mellan mejsel och skruv. Pozidrivs skruvskalle har ett kryss präglat i ytan och vridet i förhållande till krysspåret.

Den invändiga sexkantiga mejselgrappet Insex patenterades 1936 i Tyskland men det dröjde in bit in på 1950-talet innandet blev populärt runt om i världen. Med Insex kan skruvskallen göras liten och lätt även om skallen tål en stor belastning. Insex används också i stoppskruvar (helgängad skruv utan skruvskalle). Sexkantnycklar finns med millimetermått för M-skruvar och med tummått för Unifiedskruvar.

Det senaste av de vanliga mejselgreppen är Torx-systemet som liknar en sexuddig stjärna. Det utvecklades år 1962 av Textron Inc. ett industrikonglomerat som bland mycket annat producerar helikoptrar. flygplan ocn motorer. Torx-mejslar kan överföra stora vridmoment och har blivit mycket använt inom bilindustrin men också inom många andra områden. Mejslarnas storlek anges av ett nummer utan någon uppgift om mått och därför kan samma nycklar användas för M-skruvar och Unifiedskruvar utan några klagomål. Mejslar finns från T1 (minsta mejseln) till T100 (störst). Det finns också skruvar med utvändig Torx-skalle från E4 (minst) till E44. Tyvärr är inte lika nummer lika stora i T-serien och E-serien, man kan inte få allt.

Muttrar har med ett fåtal undantag varit sexkantiga och såpass höga och innehållit så många gängvarv att brott av gängor undvikits, brott i alltför hårt belastade gängförband har skett i skruven mellan skallen och

muttern. I takt med att stålen i skruvar och muttrar fått högre hållfasthet har skruvskallar och muttrar gjorts allt mindre, särskilt under andra världskriget då man också ville spara stål och förenkla skruvtillverkningen.

Vanligtvis brukar man lägga en bricka mellan skruvhuvd och gods samt mutter och gods för att minska friktionen och fördela skruvkraften jämnare över det fastskruvade godset. I vissa fall används fjäderbrickor men fjädringen har ingen betydelse för skruvförbandet därför att skruven ska dras så hårt att fjäderbrickan blir helt platt. Fjäderbrickor har en eller flera skarpa eggar riktade så att de bromsar skruv eller mutter att skruva ut sig men ej gör åtdragningen svårare. Eggarna skär in i ytan på skruvskallen och i godset, de ska förhindra att vibrationer lossar på skruvförbandet. Höger- och vänstergängade skruvar kräver olika fjäderbrickor.

Fjäderbricka för högergängad skruv. Foto från Wikipedia.

Fjäderbricka för vänstergängad skruv. Foto från Wikipedia.

En skruv ska dras så hårt att den förlängs elastiskt så att den klämmer samman förbandet även under alla yttre krafter den utsätts för. I allmänhet innebär det att den dras åt, det kallas förspänns, med en kraft som ligger över 50 % av den kraft som får skruven att plastiskt deformeras. Beräkningen av förspänningen sköter konstruktören om och han meddelar montören vilket vridmoment han ska dra skruven med. Det finns speciella momentmejslar och momentnycklar som man ställer in önskat vridmoment på och de signalerar med ett klick att vridmomentet är uppnått.

I vår datoriserade tid finns också datorutrustade momentnycklar som inte bara mäter vridmomentets största värde utan också mäter vridningen och vridmomentet under hela inskruvningen. Normalt ska vridmomentet vara mycket lågt när skruven skruvas in i hålet och ökar när skruvhuvudet tar i godset. Därefter ökar momentet linjärt med vridningen tills inställt maxvärde då skruvdragningen avbryts. Varje annat förlopp ger operatören en felsignal vare sig det kommit skräp under skruvhuvudet, det varit en gängskada eller skruven dragits av.

Svetsning

Svetsning är en sammanfogningsmetod där två likartade material läggs samman dikt mot varandra eller med en liten spalt mellan dem och de närliggande ytorna värms upp till smältpunkten och ytorna smälts samman. Oftast brukar man sätta till material som fyller fogen och spalten.

Det fanns säkert önskemål att nå vällningstemperatur på små områden för att sammanfoga stålstycken (järnstycken) men stålet ledde bort värmen så snabbt att man aldrig nådde smältpunkten med de olje- eller gasbrännare man hade tillgång till. Det skulle dock komma hjälp från oväntat håll. Den italienske fysikern Alessandro Volta konstruerade den elektrokemiska battericellen, En silverplåt (senare en kopparplåt), ett papper in dränkt med en elektrolyt och ovanpå detta en zinkplåt. Ett batteri eller som man sa då voltastapel får man genom att stapla celler på varandre. Volta visade sin stapel för Napoleon som tackade genom att utse Volta till greve och senator i kungariket Lombardiet.

Voltas stapel blev känd i hela Europa och ett flertal fysiker började experimentera med batteriet. Oberoende av varandra upptäckte den brittiske kemisten Humphry Davy år 1801 och den ryske fysikern Vasiley Petrov år 1802 den elektriska ljusbågen. Petrov studerade ljusbågen mer och hittade metoder att stablisera bågen och skrev att med ljusbågen kunde aritificiellt ljus skapas och metaller kunde smältas och svetsas. Petrov dog 1834 och han glömdes bort tillsammans med sina skrifter. Av en ren slump upptäcktes hans forskningsresultat i ett bibliotek i Vilnius de sista åren av 1800-talet men då var det för sent för då hade hans försök gjorts om på nytt av andra.

År 1830 tillverkade engelsmannen Michael Faraday en enkel likspänningsgenerator och under sina experiment upptäckte han att metallstycken som var anslutna till generatorns poler sammanfogades om de var i kontakt med varandra. Det var då grunden för motståndssvetsning,

Det dröjde dock till 1880 innan metoder utvecklades för elektrosvetsning. Det är lätt att se analogin med ketchupflaskan, först hände ingenting, sedan ingenting och sen kom allt på en gång. På bara ett par tiotal år togs metoder fram som gjorde bågsvetsning användbar i praktiken.

Bågsvetsning

Uppvärmning med en ljusbåge mellan arbetsstycket och en kolelektrod startade 1881 bågsvetsningen. Ljusbågen smälte också tillsatsmaterialet. Då fanns inga tillräckligt kraftiga elgeneratorer utan väldiga ackumulatorbatterier lämnade svetsströmmen. Nattetid laddades ackumulatorerna av mindre generatorer. Kolelektroderna förbrukades snabbt och en hel del kol löstes upp i smältan och gjorde svetsen spröd. Smältan oxiderades också av luftsyret och gjorde svetsen porös och den fick dålig hållfasthet.

År 1892 började man att använda en järntråd i stället för kolelektråd och därmed behövde man inte tillföra tillsatsmaterial, det kom automatiskt när elektroden förbrukades. Men problemen med oxider i smältan kvarstod. På något sätt måste smältan och järndropparna från elektroden till smältan skyddas från luftens påverkan.

Ingenjör Oscar Kjellberg hade arbetat med reparation av otäta fartygsångpannnor och sökte i början av 1900-talet en bågsvetsmetod för att täta dem. Han fösökte belägga järnelektroder, eventuellt inspirerad av en engelsk uppfinning, med blandningar av silkater, karbonater och järnpulver för att skydda det flytande järnet i ljusbågen och smältan från luftens syre och kväve. Det lyckades för Kjellberg och 1906 fick han patent på sin belagda elektrod. Tillsammans med några rika göteborgare bildade han Elektriska Svetsningsaktiebolaget (ESAB). Detta patent blev grunden till manuell handsvetsning med belagda elektroder och kallas på engelska MMA, Manual Metal Arcwelding. Den benämns pinnsvetsning i svensk verkstadsindustri. Varvsindustrin var stora användare av MMA från 1930-talet och framåt. Under de svenska varven höjdpunkt förbrukade de cirka 20 000 ton svetselektrodmaterial årligen men övrig svetsindustri använde också en hel del.

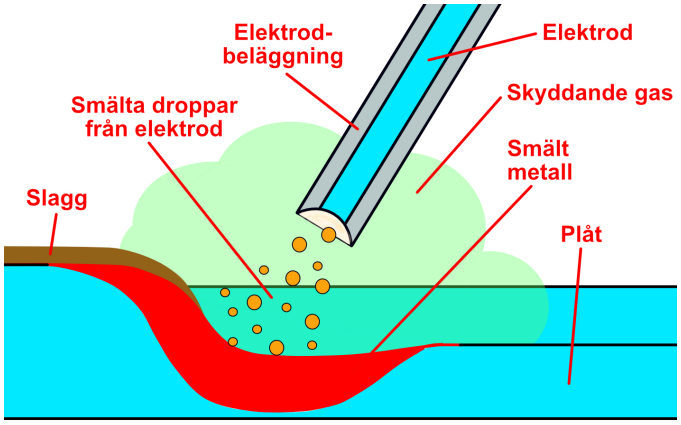
Till en början satsade ESAB på att få fram strömkällor för svetsning, den första likströmsgeneratorn köptes redan 1904 och försågs med ångmaskindrift samt placerades i en pråm som bogserades runt i Göteborgs hamn för att på beställning utföra reparationssvetsning.

ESABs modernaste och bäst utrustade reparationsfartyg ESAB IV stationerat i Göteborgs hamn år 1921. Foto Sjöfartsmuseet.

Belagda elektroder tillverkades endast för ESABs egna behov. Så småningom startade ESAB fabriker runt om i världen för att producera OK-elektroder, OK efter Oscar Kjellberg. År 1921 startade ESAB en fabrik i Tyskland utveckling och tillverkning av svetsomformare men den fabriken blev konfiskerad 1941 varvid ESAB flyttade till en nybyggd fabrik i Laxå.

Alldeles efter första världskriget gick all industriell verksamhet på sparlåga och ESAB hade inte fått igång sin verksamhet att producera och sälja belagda elektroder samt svetsomformare. Dessutom fanns en stor misstro till svetsning. Då var fortfarande reparationsverksamheten i Göteborgs hamn viktig för företaget. ESAB beslöt att bygga ett nytt helsvetsat reparationsfartyg utrustat med en modern svetsverkstad ombord. Myndigheter, försäkringsbolag och fartygsklassningssällskap kontaktades och fick lägga sina synpunkter på ritningar och svetsarbetet. I Europa hade bara två fartyg tidigare svetsats, en engelsk självgående pråm hade tillverkats under kriget och ESABs franska dotterbolag hade byggt ett reparationsfartyg efter kriget. ESAB såg till att skapa ett riktigt ståhej kring det svenska bygget. Fartyget ESAB IV byggdes klart år 1821 var 16 meter långt och 4 meter brett. Det drevs av en semi-diesel (fint namn på en tändkulemotor) på 42 hästkrafter som också drev två svetsgeneratorer. Vidare fanns en andra tändkulemotor som drev luftkompressor för tryckluft till verktyg. Trots all entusiasm som framkallades dröje det ännu tjugo år till innan svetsning av fartyg blev allmänt. År 1937 såldes ESAB IV till Kockums i Malmö för att 1987 köpas tillbaka av ESAB. ESAB IV ligger nu som museifartyg i Göteborgs Maritima Centrum och används då och då för lustturer.

Vid handsvetsning med belagda elektroder (MMA) bildar beläggningen av elektroderna dels en skyddande gas runt svetsstället dels en slagg som också skyddar den smälta metallen. Oftast läggs plåtarna kant vid kant med en liten spalt och man låter ljusbågen smälta plåtkanterna och låta elektroden fylla igen spalten. Man ser till att en liten pöl av smält material bildas och låter den utbreda sig till botten av plåtarna. Genom att snedställa elektroden något kan man hålla slaggen borta från smältans yta. Om plåtarna är tjocka måste man lägga flera svetssträngar ovanpå varandra för att spalten mellan plåtarna ska fyllas. För god hållfasthet är det viktigt att inga slaggrester får vara kvar i svetsen.



Skiss av bågsvetsning med MMA-metoden.

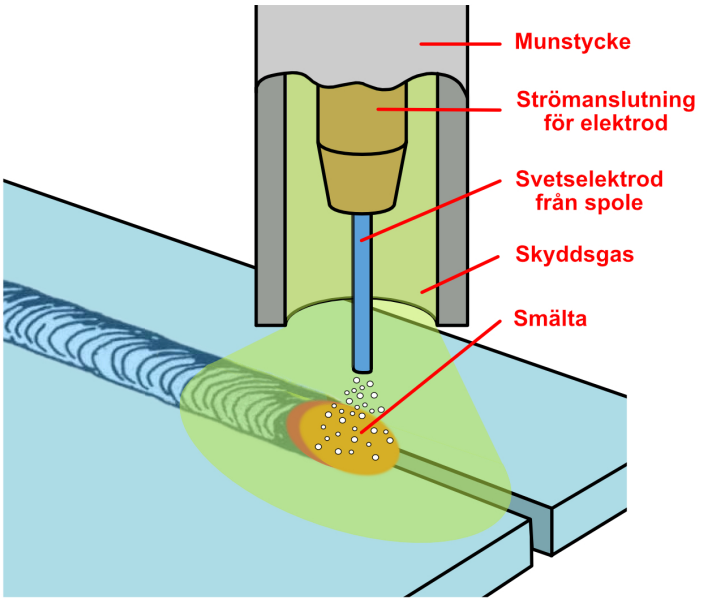
MMA går bra att använda på andra metaller än stål men elektrodmaterialet måste naturligtvis ändras och beläggningen anpassas. Elektroder för växelström togs fram och de stora och tunga omformarna byttes mot mindre, lättare och mindre energislukande svetstransformatorer som dessutom inte förde något oväsen.

Under 1920- och 1930-talen tog flera aktörer fram utrustningar som bågsvetsade med obelagd elektrod men skyddade det smälta järnet genom att spruta ut helium och senare argon genom ett munstycke runt ljusbågen. Helium och argon är både ädelgaser som inte förenas kemiskt med något annat ämne. Svetsningen lyckades men inget system såldes för det framställdes nästan inga ädelgaser och de som fanns var vansinnigt dyra. Helium framställs ur naturgas som på vissa platser innehåller upp till 4 % helium, luft innehåller nästan inget helium eftersom gasen tenderar att försvinna ut i universum. Däremot innehållller luft ungefär 0,93 % argon som framställs genom destillation av flytande luft. Argon kokar vid ungefär -186 °C.

På 1950-talet började bågsvetsning användas med obelagd tråd med argon som skyddsgas. Svetsutrustningen består av en svetsströmkälla, en gasbehållare, en trådrulle med på ytan förkopprad elektrodmaterial samt en svetspistol. Genom en slang förs svetsström i en ledning, elektrodmaterial och skyddsgas till svetspistolen. När ljusbågen tänds smälter elektrodmaterialet ned och blir tillsatsmaterial i svetsfogen. Metoden kallas MIG-svetsning (Metal Inert Gas) för att skyddsgasen inte har någon kemisk inverkan på svetsen.

Det gjordes många experiment med olika skyddsgaser och man fann att koldioxid också fungerade bra. Den deltar också aktivt i smältprocessen. Metoden fick då ett eget namn MAG (Metal Active Gas). En vanlig skyddsgasblandning för MAG-svetsning är numera 80 % argon och 20 % koldioxid. Det enda som egentligen

skiljer MIG från MAG är innehållet i gasflaskan så att idag slås metoderna ihop och kallas vanligen MIG/MAG-svetsning.



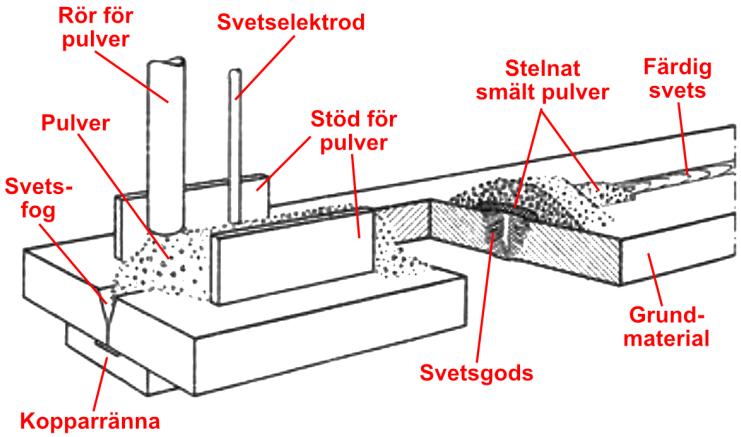
Ett snitt genom svetspistrolens munstycke för MIG/MAG-svetsning.

MIG/MAG är bra metoder och har blivit dominanta inom svetsningen också beroende på att de är väldigt lätta att automatisera med hjälp av svetsrobotar men de har ett par nackdelar, skyddsgasen stannar inte kvar vid svetsstället utomhus när det blåser och det är svårt att svetsa grövre gods.

I USA utvecklades en rörelektrod som i röret har ett flussmedel som fungerar som beläggningen på pinnsvetselektroder. Flussmedlet utvecklar under svetsningen en egen skyddsgas och dessutom bildar ett skyddande slagglager på svetsen. Tyvärr bildas det ganska mycket rök som måste ventileras bort. Röken kan minskas mycket om man använder koldioxid som en extra skyddsgas. Metoden som kallas FCW (Flux Cored Wire, flussfylld tråd) har blivit mycket populär, ofta med blandningen argon och koldioxid som extra skyddsgas.

I slutet av 1930-talet introducerades en amerikansk metod fö automatsvetsning av mycket grov stålplåt, upp till 40 mm tjock. Den gick ut på att bågsvetsa med en obelagd tjock ståltråd som elektrod under ett lager av pulver som skyddade svetsmaterialet och svetsen. Pulvret har cirka 60 % kiseldioxid, 30 % kalciumoxid, 10 % magnesiumoxid och 5 % aluminiumoxid. Pulvret närmast ljusbågen omvandlas till en glasartad massa som lägger sig över svetsen och skyddar den under avsvalningen. Maskinen lägger först pulver över fogen sedan följer elektroden nedstoppad i pulvret och därefter sugs opåverkat pulver upp av en dammsugare. Metoden användes mycket av den svenska varvsindustrin så länge varven fanns men även nu används den för svetsning av grova plåtat som kan skarvas med en svetssträng. Med andra metoder behöver man lägga fler svetssträngar för att fylla fogen. Metoden lämnar ingen rök, pulvret tar han om den delen.

Om man jämför normala svetsströmma för de olika svetsmetoderna kan man få en uppfattning om hur stora områden ljusbågen kan värma upp. MIG/MAG arbetar med strömmar runt 100 A medan svetsning med belagd tråd använder 200 till 250 A. Automatsvetsning med obelagd tråd under pulver kan använda svetsströmmar på omkring 4000 A och mer.



Princip för automatsvetsning under pulver. Bild ur Teknisk Tidskrift.

Under 1940-talet sökte främst den amerikanska flygindustrin efter metoder att svetsa lättmetaller som magnesium och aluminium. Det fungerade att kopiera MIG-metoden med magnesiumtråd och helium som skyddsgas men det var svårt att svetsa med elektrodmaterial med så låg smältpunkt. I stället valdes volfram som elektrodmaterial. Efter kriget utvecklade Union Carbide Corp. metoden ytterligare och började använda argon som skyddsgas, de kallade metoden med tiden TIG (Tungsten Inert Gas).

Här är det på plats att anmärka om en underlighet med volfram. Den har en påtaglig sverigeanknytning för att en malmsort, scheelit som bröts i Sverige, kallades tungsten på grund av sin höga densitet. Det är bara

kemister och svenskar som använder namnet volfram på metallen men övriga människor i världen kallar metallen tungsten.

Med TIG-svetsning bildar man en ljusbåge mellan volframelektroden och arbetsstycket medan ljusbåge och smälta skyddas av argon. Om det behövs tillsatsmaterial sticker svetsaren en tråd ned i svetssmältan och där den smälts . Vanligtvis svetsar man med likström och normalt ansluts strömkällans minuspol till elektrodhållaren. När lättmetaller svetsas behövs en bra oxidbrytning och det får man genom att använda växelström men då behövs en högfrekvensgenerator som tänder ljusbågen efter varje strömomriktning.

TIG-svetsning används mest till rostfria och höglegerade stål men också till icke-järnmetaller som aluminium, kopparlegeringar eller nickellegeringar. Metoden går att använda på alla metaller utom zink.

Gassvetsning

Det dröjde ganska länge innan man upptäckte en gas som vid förbränning skapade de höga temperaturer som behövdes för att svetsa stål. Lysgas och syre gav som bäst 1800 °C flamtemperatur och vätgas och syre gav 2000 °C. Det var bara bly som i större mängd kunde smältas. År 1892 lyckades fransmannen Henri Moissan och amerikanen Thomas L Willson oberoende av varandra framställa kalciumkarbid som tillsammans med vatten gav gasen acetylen. Gasen visade sig vid förbränning med lika mängd oxygen (syrgas kallas alltid oxygen i samband med svetsning och lödning) ha en flamtemperatur på cirka 3100 °C. Oxygenet kunde framställas ur flytande luft. Syre kokar vid -183 °C och kväve vid -196 °C och man låter kvävet koka bort först och syret återstår. Actyenen skapades vid lokala gasverk av kalciumkarbid och vatten. Problemet var att oxygenet hade högt tryck och acetylenen lågt. Det var lätt att framkalla explosioner. Man försökte förvara acetylenen under högt tryck i stålflaskor men trycket blir lågt när flaskan töms. Acetylenen råkade i vanrykte ända till Gusaf Dalén och Harry Sköldberg år 1906 uppfunnit AGA-massan som bland annat bestod av stenkol, asbest och cement. Den porösa massan indränktes med aceton som vid högt tryck löste upp stora mängder acetylen utan att bli explosionsbenäget. Man fick då svetsutrustningar som gick att flytta och värmen från lågan var mer än tillräcklig för att värma upp fogarna till smältpunkten och samtidigt smälta tillsatsmaterialet. Förbränningsgaserna hindrade också luftsyret att oxidera smältan om man ställde gaskranarna rätt så att det inte blev ett syreöverskott.

Gassvetsning för produktionsändamål började bli otidsenlig på 1940-talet men den hängde med som reparationssvets en bit in på 1950-talet. Numera används gasbrännare endast vid hårdlödning.

Motståndssvetsning

Motståndssvetsning innebär att två metallytor trycks mot varandra och en stor elektrisk ström leds genom kontaktpunkten, då leder effektutvecklingen i det elektriska motståndet vid kontaktpunkten till metallen smälter och metallerna svetsas samman. Metoden fungerar på överlappsfogar med tunnplåt och har stor användning inom bland annat bilindustrin vid svetsning av karosseridetaljer.

Punktsvetsning är den vanligaste metoden och utvecklades under de första åren av 1900-talet. En kraftig tång med kopparstavar som käftar griper om de överlappande plåtarna pressar ihop dem hårt och sedan sänds en kort strömpuls genom kopparstängerna och plåtarna. Tången presskraft kvarstår tills smältan stelnat vilket går snabbt eftersom det finns massor av kall plåt runt svetspunkten. Därefter öppnas tången och en punkt har svetsats. Tången flyttas sedan ett stycke och hela förloppet upprepas. En bilkaross kräver många tusen svetspunkter för att svetsas klar och dessutom är punktsvetsning lätt att automatisera så att praktiskt taget all punktsvetsning inom bilindustrin är idag helautomatiserad. Punktsvetsning används också inom andra områden, chassin till exempelvis kylskåp, tvättmaskiner och kontorsmaskiner tillverkas av punktsvetsad plåt.

En variant av punktsvetsning är den så kallade pressvetsningen. I plåtarna pressas små upphöjningar in och vid svetsningen överförs svetsströmmen med stora kopparplattor. Strömmen går över mellan plåtarna vid de små upphöjningarna och därför får man vid hoppressningen flera svetspunkter samtidigt.

Sömsvetsning är i princip också en variant av punktsvetsning men annorlunda i praktiken. Två långsamt roterande kopparrullar pressar samman plåtarna och en pulserande ström går genom rullarna och plåtarna. Rotationen matar även plåtpacken framåt. Genom rullarnas rotationshastighet, strömmens pulslängd och

mellanrummet mellan strömpulserna kan man få en kontinuerlig och tät svetsfog mellan plåtarna. Metoden används vid tillverkning av behållare och diskbänkar.

Plasma- och lasersvetsning

Plasma- och laserteknikerna finns beskrivna på sidorna 21 till 23 i detta häfte där skärning behandlas. Teknikerna är båda väl lämpade att använda även till svetsning, de kan båda överföra stora energimängder och de kan göra detta på små områden. Båda metoderna kan arbeta med stumfogar och utan tillsatsmaterial och används för automatsvetsning. Den smälta man får av grundmaterialet lägger sig efter strålen och fyller igen spalten där den snabbt stelnar. Eftersom strålbredden är så liten måste fogföljare användas, den följer optiskt fogen och justerar antingen arbetsstycket eller svetsstrålen så att svetsen hamnar mitt i fogen.

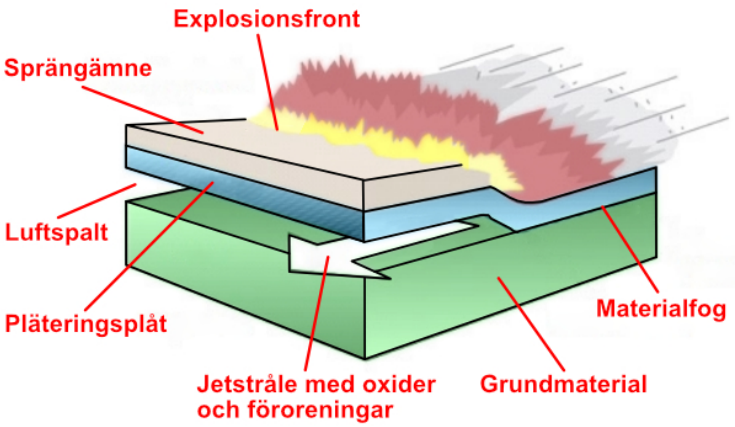
I fallet plasmasvetsning används argon som plasmagas och sekundärgas för att lägga skyddsgas runt metallsmältan. Plasmasvetsning liknar för övrigt i hög grad TIG-svetsning.

För lasersvetsning används helium eller argon som skyddsgas, valet beror på lasertyp.

Svetsningen med båda metoderna är väldigt snabb, flera meter per minut. Det är också ett litet område på arbetsstycket som värms upp vilket gör att svetsområdet kyls snabbt och risken för värmespänningar och materialpåverkan blir mindre än med andra svetsmetoder.

Explosionssvetsning

Ett annorlunda sätt att förena två metaller är explosionssvetsning. Ett högexplosivt sprängämne fås att explodera och pressar under ett oerhört hårt tryck samman två plåtar. Egentligen ska metoden inte kallas svetsning för att temperaturen i sammanpressningen är så låg att inga smältor bildas och inga legeringar bildas heller i fogen. Det höga explosionstrycket får metallatomerna i de båda metallerna pressas ihop och binder varandra med rent atomära krafter. Här framgår den stora fördelen med explosionssvetsning, det går med metoden att sammanfoga metaller som är omöjliga svetsa ihop med vanliga svetsmetoder.



Skiss av explosionssvetsning.

Explosionssvetningen förbereds genom att man lägger ut distansbitar på 10 till 20 millimeter höga på grundmaterialet för att få en luftspalt mellan plåtarna och sedan läggs pläteringsplåten på distanserna. Därefter läggs sprängämnet i ett lagom tjockt lager ovanpå pläteringsplåten. Det är ju meningen att plåtarna ska förenas, inte att skjuta plåtarna genom jordytan. Här krävs nog ett noggrannt experimenterande för att finna ut lämpliga mängder.

Pulverformiga sprängämnen används för de är lätta att portionera ut. Sprängämnet ska ha detonationshastigheter mellan tre och åtta kilometer per sekund. Detonationshastigheten är den hastighet explosionsfronten rör sig med. Explosionen initieras i ett hörn och explosionsfronten sprider sig över plåtarna. Pläteringsplåten deformeras under det höga trycket vid explosionsfronten och slår i grundmaterialet. Den kil som bildas mellan pläteringsplåten och grundmaterialet skjuter iväg oxider på metallytorna och rester av distanserna mellan plåtarna i en jetstråle med mycket hög hastighet.

Explosionssvetsning kommer inte att bli någon allmän metod inom verkstadsindustrin eftersom säkerhets- och miljökraven är höga. Skjutplatsen ska ligga långt från byggnader som påverkas av vibrationer och tryckvågor, dessutom bullrar det mycket. Området måste vara väl skyddat mot obehöriga eftersom operatörerna måste veta var alla människor finns innan explosionsknappen trycks in. Operatörerna ska också sitta i en bunker.

I mitten av 1960-talet bildades Nitro Metall som började med explosionssvetsning med en skjutplats i Likenäs. Företaget flyttades utomlands 2011 och lade ned den svenska skjutplatsen.

En ny metod som kanske kan ta över en del av explosionssvetsningen är svetsning med magnetpulser. Genom att ladda ur en stor kondensator genom en speciellt utformad magnetlindning kan man skapa lika stora krafter som explosiossvetsning men ännu bara inom små områden.

Friktionssvetsning

Vid friktionssvetsning utnyttjas friktionsvärme för att värma upp svetsstyckenas ytor till smidestemperatur och ett degigt tillstånd innan ytorna kläms samman. Det bildas inga smältor materialen förenas i en process som liknar vällning.

En metod som används på rundstång eller rör genomförs med två chuckar en är fast och den andra kan roteras. ämnena spänns fast i var sin chuck och ämnena pressas samman vid den roterbara chucken som börjar roteras. Av friktionen mellan ämnesbitarna börjar båda bitarnas ändar anta smidestemperatur stannas den roterande chuckens rotation och bitarna pressas samman. Det bildas en vulst utanför ämnena och den innehåller bland annat de föroreningar som funnits på ändytorna.

En annan metod kallad friktionsomrörningssvetsning och utförs på plåt i stötfog. En värmetålig pinne med liten diameter pressas in i fogen och roteras snabbt medan den förs framåt i fogen. Av friktionen värms plåtarna i fogen upp till degliknade konsistens som hela tiden fyller upp det område pinnen kommer från. Metoden används på material med låga smältpunkter som alumininium, koppar och magnesium men kan också användas på titan och nickel. Metoden är inte lämplig på stål.

Lödning

Lödning är en sammanfogningsmetod med en smält lödmetall som förenar två andra metaller med klart högre smälttemperaturer än lödmetallen. Lod är namnet som används för lödmetallen.

Lödning brukar delas in i två grupper beroende på lodets smälttemperatur. Vid lodets smälttemperatur högre än omkring 450 °C kallas processen hårdlödning, vid lägre smälttemperatur kallas processen mjuklödning

Vid hårdlödning används vanligtvis silverlod (silver legerat med zink med en smälttemperatur mellan 580 och 750 °C) eller mässninglod. Vid lödning används flussmedel för att bli av med oxider på metallytorna och för att det smälta lodet lättare genom kapillärverkan skall sugas in i springan mellan metallstyckena. Borax används ofta som flussmedel. Uppvärmningen sköts med gasol- eller acetylenbrännare men ibland i ugnar.

Mjuklödning används mest vid lödning i elektriska kretsar och elektonikkomponenter. Det vanligaste lodet är ett med 60 % tenn och 40 % bly och har ett smältintervall mellan 183 och 188 °C. Lodet är helt flytande vid den högre temperaturen och fast vid den lägre. Mellan temperaturerna har det ett halvflytande degigt tillstånd. Eutektiskt tenn/blylod har den lägsta smälttemperaturen av 183 °C och har sammansättningen 63 % tenn och 37 % bly. Nu försöker man att fasa ut blyet och använda andra legeringsämnen men de lod som tagits fram har högre smälttemperaturer och man riskerar värma sönder halvledarkomponenter då sådana lod används.

Vid manuell lödning av elektronik används en elektriskt uppvärmd lödkolv och lod i trådform med fluss av harts i kanaler i lodet. Vid maskinell lödning används en våglödningsutrustning. I en gryta med smält lod pumpas en centimeterhög våg och kretskort som besprutats med en lösning av flussmedel transporteras över tennytan så att de nuddas av tennvågen varvid lodet sugs upp av kapillärkrafterna.

Till vattenledningar av koppar används mjuklödning för att löda kopplingsstycken med kapillärlödning. Loden är antingen tenn/silver med andelarna 97 och 3 % eller tenn/koppar med andelarna 97 och 3 %. Detta för att undvika bly i dricksvattenledningar.

Aluminium kan med framgång mjuklödes med ett lod som har smältintervallet 178 till 270 °C. Det består av 80,1 % bly, 18 % tenn och 1,9 % silver. Detta lod fungerar också med många andra metaller.

Limning

Limning och lim har en mycket lång men från starten odokumenterad historia. Limmer består av ämnen med långa molekyler som förmår att häfta i varandra och andra ämnen. De används därför för att sammanfoga föremål.

Det finns tre grundtyper av lim:

- Torkande lim. Ett limämne som lösts i ett lösningsmedel limmar när lösningsmedlet avdunstat.
- Smältlim. Ett limämne värms upp till det är flytamde och limmar när det svalnat.
- Härdlim. Ett limämne som genomgår en kemisk reaktion och hårdnar när ett härdämne tillsatts.

De första torkande limmerna eller klistren hittades nog direkt i naturen, exempelvis beck och kåda. Då deras lösningsmedel också var högmolekylära dröjde det länge innan limmen hårdnade, ibland flera tiotals år. Långt senare började man processa naturmaterial för att få fram limämnen. Glutinlim är ett sammanfattande namn på limmer som är framställda genom kokning av fiskskinn och djurhudar. Kaseinlim hör till samma grupp men framställs av skummjölk. Dessa limmer har vatten som lösningsmedel och benämns som kallim och användes för trälimning. Benlim, även kallat varmlim, från krossade djurben som kokts efter att kalken tagis bort med syra är också ett snickarlim som appliceras som en uppvärmd vattenlösning och hårdnar när det svalnar och blir riktigt hårt när vattnet diffunderat in i träet.

Växtriket har också bidragit med limämen, stärkelse är ett av dem. En vattenlösning av potatismjöl används som tapetklister. Stärkelse omvandlas vid temperaturer 160-200 °C till dextrin, ett mellansteg till socker. I dextrin framställt direkt av naturstärkelse som mjöl av brödsäd och potatis finns sockerarter och andra ämnen som ger god lukt och smak till dextrinet. Papperslim kan tillverkas av dextrin upplöst i vatten. Björnklister var ett populärt lim i skolornas pappslöjd och åtgången var stor, en del limmades med och en del åts upp.

Numera har naturmaterialen övergivits och syntetiska material, konsthartser, används till limmer. Nu brukas polyvinylacetat och polyuretan som trälim båda är härdlimmer, polyvinylacetat härdar när vattnet avdunstar och polyuretan härdas med luftfuktigheten. Polyuretan limmar bra även mot glas-, plast-, keramik- och metallytor.

På 1920-talet uppfann Axel Karlsson ett torkande lim som bestod av celluloid upplöst i metylacetat, ett mycket lättflyktigt ämne. Han kallade sitt lim för Karlssons klister, ett mycket snabbtorkande lim för många material.

Limning med kontaktlim sker genom att limmet styks på båda kontaktytorna och limytorna får torka. Därefter läggs de samman och limytorna häftar direkt till varamdra. För bästa limning ska delarna trycks ihop kraftigt efteråt.

Smältlimmer har limämnen med termoplastiska egenskaper. De är rätt hårda vid rumstemperatur och mjuknar vid uppvärmning och smälter vid omkring 100 °C (enstaka ämnen vid 150 °C). Limmet appliceras med en eluppvärmd limpistol och limmet binder vid avsvalning. Limmet är enkelt att applicera och det avger inga lösningsmedelsångor men kan i allmänhet inte användas på föremål som normalt blir varma. Det finns dock reaktiva limämnen som efterhärdar av luftfuktighet (reaktiva uretaner eller silikoner) eller ultraviolett strålning och de ämnena tål uppvärmning utan att släppa greppet.

De för verkstadsindustrin viktigaste limmerna är de härdbara. I många fall handlar modern tillverkning om att sammanfoga metaller och glas-, plast- eller kompositmaterial och där erbjuder limning bra alternativ. Tvåkomponents härdplaster tillverkas genom att plastämne, eventuellt utblandade med lösningmedel, blandas med en härdare som startar polymerisation det vill säga bygget av det molekylära nätverk som gör att plasten bibehåller formen. Om man hettar upp plasten tillräcklig mycket bryts molekylbindningarna men samtidigt förstörs molekylerna. Enkomponents härdplaster har redan ett härdämne inblandat men kräver en tredje faktor för att starta härdningen. Denna tredje komponent kan vara faktorer som värme, luftfuktighet, ultraviolett ljus eller syre men det finns även plastmaterial som härdar genom enbart sådana faktorer.

Epoxiplast utvecklades i Tyskland 1939 och är fortfarande en av de bästa härdplasterna. Hållfastheten är hög, den är färglös och den häftar mot de flesta material, därför fungerar epoxiplasten bra som lim. Nackdelen är att det krävs en härdartillsats omedelbart före limningen. Grundmaterialet epoxi är allergiframkallande men färdighärdad epoxiplast är helt harmlöst.

Limmer som utnyttjar uretanplast kan ha varierande egenskaper från mjuka gummiartade till hårda beronde på sammansättningen. Seghet och en liten flexibilitet hos ett lim är ofta fördelaktig. Uretanlimmer finns både som en- och tvåkomponentlim, enkomponentlimmen härdar genom luftfuktigheten medan tvåkomponentlim ska en tillsatt härdare vilket oftast ger en kortare härdningstid. Isocyanater härdar alla uretanlimmer och är riktigt hälsovådliga ämnen. Färdighärdade är uretanplaster ofarliga men om de upphettas så kraftigt att plasten sönderdelas kan isocyanater frigöras.

Härdande superlim eller snabblim med cyanoakrylater som limämne har flera goda egenskaper, enkomponent, lösningsmedelsfria och snabbhärdande. På några få sekunder härdar de med luftfuktigheten som utlösande faktor. De är i allmänhet lika lättflytande som vatten och fyller inte ut ojämnheter i limfogen men med detaljer som passar bra till varandra räcker det med en droppe mitt på limytan och ett litet tryck på detaljerna för att få en hållfast limfog. Tyvärr fungerar inte limmerna på porösa material.

Anaeroba limmer härdar när luft (egentligen syrgasen i luften) inte når limmet. Denna limtyp med bivillkoret att samtidigt ha kontakt med metaller används för att låsa muttrar i gängförband eller att göra ett skruvförband gastätt. Enkelt användningssätt, bara en droppe lim på skruvgängan innan man drar åt skruven så fixar kemin resten automatiskt.

Det finns ytterligare ett stort antal limämnen som är härdande, för varje tänkbar kombination av material som ska limmas finns minst ett lim på marknaden. Det finns också en stor valfrihet för limmets egenskaper men man bör också beakta limämnets, lösningsmedlets och härdarens egenskaper vilka i de flesta fall är vådliga. Alla ämnen är inte lika farliga och om man har något val brukar de minst farliga väljas. Annars måste man vidta ofta dyrbara skyddsåtgärder.

Svetskommissionen

Svetsning var mycket ifrågasatt under första hälften av 1900-talet eftersom det inte fanns något sätt att kontrollera kvaliteten på en svets. Det syntes inte mycket från ytan och ytan sa inte så mycket om hur svetsen såg ut inuti och det är inuti som hållfastheten sitter. Det kan vara porer och slagginneslutningar eller dålig inbränning i underlaget och så vidare. Man kunde naturligtvis bryta upp svetsen och titta efter men då måste ju svetsen göras om utan några garantier för att det blir bättre nästa gång.

Svenska Ingenjörsvetenskapsakademin genomförde 1930 en konferens rörande svetsning och den resulterade 1931 i Svenska Studiekommissionen för Svetsningsfrågor som senare blev Svetskommissionen. Den började med att utforma riktlinjer för beräkning av svetsade konstruktioner och regler för svetsarutbildning och svetsarkompetens. Säkerhets- och kontrollfrågor initierades vilket bland annat ledde till att Tekniska Röntgencentralen startades 1936. Med röntgen fanns då en metod att ickeförstörande kontrollera kvaliteten på en svetsfog.

Svetskommissionen är en branschorganisation för fogningsteknisk utveckling med samverkan mellan företag, institutioner och myndigheter som arbetar med svetsning och all annan sammanfogning. Den ansvarar också för svetsstandardiseringen i Sverige och arbetar med forskning och utbildning. På klassiskt svenskt maner har vi skaffat oss en organisation som ansvarar för allt men inte har resurser att sköta allt. Svetskommissionen har dock lyckats ge en stark tilltro till svetsning.

Ytbehandling

Ytbehandling av tillverkade komponenter eller produkter innebär att ytan förändras för att skydda den mot förslitning och kemiska angrepp eller att göra den lättare att hålla ren eller att göra den dekorativ. Ofta är målsättningen alla fyra villkoren ska uppfyllas.

Den enklaste ytbehandlingen är att putsa och polera ytan som får den att se mycket bättre ut, i varje fall ett tag men små skador syns tydligare och korrosionsskyddet förändras inte. Metoden kan naturligtvis användas på hårda och material som inte korroderar som rostfria och syrafasta stål.

Ser man på korrosionsproblemen ställer väl stål till de största svårigheterna, stål är den mest förekommande metallen och korroderar lätt. Finns bara fukt och syre rostar stål bort. Så sent som för fyrtio år sedan räknade man med att 20 % av stålet i världen rostade bort årligen. Nu tillverkar man bättre stål och

rostskyddsmetoderna har förbättrats så problemet har minskat. En gammal metod att rostskydda vapen och verktyg var att blånera dem. Stålet hettades upp och beströk med linolja som lämnade ett tunt lager av svart järnoxid (Fe_3O_4) på stålytan. Detta lager skyddade stålytan och kunde också hålla kvar ett tunt oljeskikt som förbättrade skyddet. En annan gammal metod var att måla stålet med blymönjefärg. Färgen består av ett pulver med 96 % blytetraoxid (Pb_3O_4) och resten blyoxid (PbO) som rördes ut i linolja. Färgen år ilsket röd och ger ett rostskydd som är väl så gott som dagens bästa rostskyddsfärger. Blymönjan har en stor fördel i att stålet behöver inte rensas från rost före målningen. Trots att bly skall fasas ut kan man inte förbjuda blymönjeanvändning ännu eftersom det inte finns någon god ersättning.

För ståldetaljer som används inomhus i torr luft får man ett gott skydd mot rost om man lägger ett tunt lager zink genom elektrolytisk metod. Processen benämns galvanisering som ger ett silverblankt lager på skruvar, muttrar och mindre beslag. För fuktiga miljöer ger galvanisering inget tillräckligt skydd, här måste man ha ett betydligt tjockare zinkskikt som man får genom att doppa föremålen i ett bad av smält zink, vilket kallas varmförzinkning.

Förkromning. en elektrolytisk pålägggning av krom på en metallyta, ger en hållbar blank och glänsande yta som också ger ett korrosionsskydd. För dekorativa ändamål brukar kromskiktet vara tunt, upp till ett par tusendels millimeter. inte bara stål förkromas utan också aluminium, koppar- och zinklegeringar samt plastmaterial. Oftast brukar man lägga kromet på en elektrolytiskt pålagd nickelyta. Hårdförkromning brukar man använda för att minska friktion och öka nötningsmotståndet med kromskikt upp till tre tiondels millimeters tjocklek. Kolvstänger brukar ofta hårdförkromas. Cylindrar av lättmetallgjutgods till småmotorer för motorsågar och gräsklippare hårdförkromas på insidan.

Förnickling ger också en hållbar silverblank metallyta samtidigt som den ger ett korrosionsskydd om nickelskiktet är porfritt och tillräckligt tjockt. Nickel läggs på elektrolytiskt med skikttjocklekar upp till någon hundradels millimeter.

Fosfatering av metallytor genomförs mest genom att lägga detljerna i kokande fosfatlösningar varvid ett ytskikt av fosfater bildas på detaljerna. De får en grå yta, Avsikten är att få ett korrosionsskydd vilket dock inte blir hundraprocentigt eftersom fosfatskikten är porösa men de suger lätt upp olja som förbättrar skyddet. Fosfatskikten är bra grund för olika målarfärger.

Lackering inom verkstadsindustrin sker inte med pensel eller roller utan enbart med sprutmålning, när det gäller flytande lacker antingen tryckluftspruta eller högtryckspruta med undantag av den senaste tekniken pulversprutning. Lacket bestär av ett fint pulver som blåses ut med en speciell pistol som ger pulverpartiklarna en elektrisk laddning och detaljen har den motsatta laddningen. Pulverpartiklarna dras då till detaljen och fastnar på grund av laddningen. Partiklarna kan dras runt hörn och når alla delar av detaljen. Därefter passerar detaljen en ugn eller värmestrålande paneler och pulvret smälter och härdar. Metoden är effektiv, det blir mycket litet färgspill och det går att få tjockt färglager på en gång.

Under 1920-talet utvecklades den första lacken som som var sprutbar med tryckluftspruta. Det var cellulosalacken vilken behövde polering för att bli riktigt glansig. Lackering var ett manuellt arbete och lösningsmedelsångorna påverkade lackerarna mycket illa även om det var väl ventilerat i verkstaden. Lacket härdades inte och var mycket känslig för olika lösningsmedel. Närmaste utvecklingssteg var syntetlackerna med syntetiska hartsämnen kom under 1950-talet. De var härdande lacker och var mycket okänsliga för kemikalier efter torkningen och var mer glansiga än cellulosalackerna men de var också beroende av lösningsmedel.

De lösningsbaserade lackerna snabbade på utvecklingen av robotutrustade lackeringsavdelningar.

Aluminium är en lätt korroderad metall men bildar automatiskt med hjälp av syret i luften ett tätt skikt av aluminiumoxid som effektivt skyddar metallen. Detta skikt kan få en ökad tjocklek genom elektrolytisk påverkan. Det oxidskiktet blir porösare och kan fyllas med färg eller så kan oxidskiktet färgas kemiskt. Processen kallas eloxering. Aluminium kan också förses med lager av andra material, exempelvis kan stekpannor förses med lager av teflon eller keramiska material för att förhindra att pannkakorna bränns fast i pannan när de gräddas.

Industrirobotar

Amerikanerna Joseph F Engelberger och George Devol började år 1954 att söka patent på ett sätt att låta en maskin imitera inte en hel människa men väl en mänsklig arms rörelsemönster. År 1961 beviljades patentet i USA. De startade ett företag, Unimation, 1962 men hade redan 1960 sålt en industrirobot och levererat den till General Motors. De kallade sin industrirobot Unimat och den var helt hydrauliskt driven.

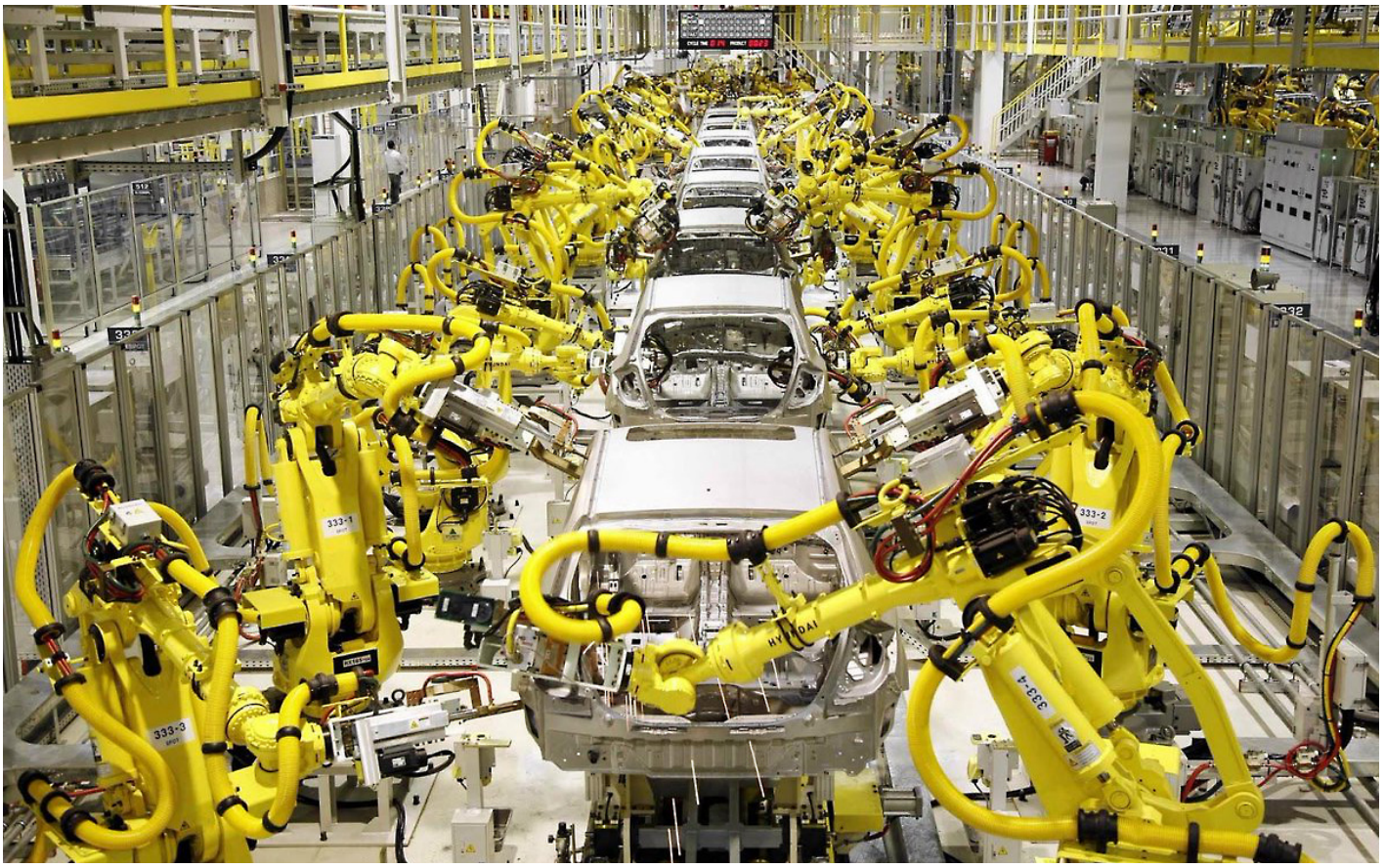
Europas första industrirobotar kom till Sverige när Svenska Metallverken köpte två Unimater och installerade dem i sitt pressgjuteri. Curt Nicolin, koncernchef på ASEA, var intresserad att köpa tillverkningslicens på Unimat men när kontraktet gick till Electrolux beslöt ASEA 1972 att utveckla en egen elmotordriven och mikrodatorstyrd industrirobot. Prototypen blev klar i slutet av 1972 och började nästan direkt att produceras. År 1988 gick ASEA och schweiziska Brown Boveri samman och bildade ABB (Asea Brown Boveri) och har från 1972 fram till nu installerat ungefär 400 000 robotar i världen.

IRB 6, den första typ av industrirobot ASEA producerade. Den lyfter högst 6 kg.
Foto ASEA.

IRB 8700, den största i ABBs senaste industrirobot-familj. Den kan lyfta laster upp till 800 kg.
Foto ABB.

Industrirobotar ska imitera en mänsklig arm utan att ha den mänskliga armens begränsningar. De ska ha en hand som kan hålla fast ett föremål och handen konstrueras efter föremålet, den kan ha tånggrepp, ett expanderande grepp eller sugkoppar. Handen ska kunna greppa och hålla fast utan att vara i vägen för verktyg eller annat samt ska kunna placera och släppa föremålet på en bestämd plats. Robotens handled ska kunna vridas runt hela varvet och kunna böjas i ett halvt varv eller mer. Armen ska hunna sträckas ut och dra sin och handen ska kunna placeras i olika höjd och hela roboten ska kunna svängas hela varvet runt. Robotens hand ska kunna positioneras inom en tiondels millimeter och banan ska kunna ligga inom ett par tiondels millimeter från den programmerade banan.

Om de här villkoren är uppfyllda kan industriroboten slipa och polera rörkrökar, polera diskbänkar, hämta färdigt gjutgods från pressgjutmaskiner och formsprutor, MIG/MAG-svetsa, punktsvetsa, sprutlackera och plocka plåtar i och ur plåtpressar samt med lite synhjälp av kameror limma fram- och bakrutor på bilkarosser. Industrirobotar är unversalverktyg i serieproduktion. De används bäst för tunga, monotona, riskabla och hälsovådliga arbetsuppgifter. De modernaste industrirobotarna med så kallade vision-system, kameror och bildbehandling där exempelvis defekta föremål kan identiferas och plockas bort av roboten eller arbetsobjektets läge bestäms varvid robotens arbetsprogram justeras efter läget.



Bilkarosseritillverkning med industrirobotar. Bild från Wikipedia.

Transferlinje

En transferlinje, eller som man säger med ett finare språk, en flödesorienterad layout används för att automatiskt tillverka en större mängd likadana detaljer under en längre tid. Transferlinjen består av en mängd stationer där skäligen enkla arbetsmoment som borrning, gängning och fräsning utförs vid varje station. Maskinerna på varje station är lösa borr- och gängenheter samt enkla fräsenheter. Arbetsstyckena matas automatiskt från föregående station och låses fast i en fixtur. Maskinerna justeras in till rätt position och arbetsrörelsen bestäms varefter enheterna låses fast i rätt läge. Maskinerna startas och stoppas helt automatiskt. När allt är klart lossas arbetsstycket från fixturen och transporteras helt automatiskt till nästa station.

Arbetsstyckena kan bearbetas från alla sidor och i princip färdigbearbetas under en färd på en tranferlinje. Tillverkningen blir helautomatisk men varje detalj blir inte måttkontrollerad så att detaljerna riskerar att inte bli helt identiska. Det var svårt att förutsäga slitaget på verktygen.

Det var den amerikanska bilindustrin som först kunde använda transferlinjer, gjutna motorblock till personbilsmotorer som länge var favoritarbetsstycken i tranferliner. Problem med den dåliga måttkontrollen av cylindrar i motorblocken och och även på tillverkade kolvar, alla kolvar passade inte i alla cylindrar. Det löste fiffiga ingenjörer med att konstruera en maskin som mätte cylinderdiametern och sorterade fram rätt kolv till varje cylinder. Alla motorerna fungerade då efter monteringen men de var nästan omöjliga att renovera senare. Den rätta lösningen kom senare fram genom att göra de skärande verktygen slitstarkare för transferlinjens maskiner och byta verktygen oftare.

Transferlinjer användes långt in på 1980-talet inom bilindustrin och många andra masstillverkare och många använder dem även idag. Det finns dock ett hot mot tranferlinjer. Osäkerhet om detaljens varaktighet. Det är ett besvärligt och tidsödande arbete att trimma in transferlinjen till stabil funktion. När man väl har kommit fram till en godkänd produkt knäpper man händerna och ber att konstruktörerna av detaljen inte kommer på att göra en konstruktionsförändring för då måste tranferlinjen byggas om och trimmas in på nytt.

De grundläggande idéerna till transferlinjer skapades i början av 1800-talet av den fransk-engelske ingenjören Marc Brunel. Engelska flottan behövde stora mängder linblock i segelfartygens rigg, i varje fartyg använde ett tusental block. Dessa tillverkades för hand och hade växlande kvalitet. Brunel delade upp tilllverkningen i enkla moment som han tillverkade enkla maskiner för att utföra. Han byggde upp en fabrik i Portsmouth för att producera block. Hans block hade en högre och jämnre kvalitet än de handtillverkade blocken och tillverkningen blev mycket billigare. Tio arbetare producerade i Brunels fabrik fler block än ett hundratal hantverkare gjorde. Skillnaden mellan en transferlinje och Brunels fabrik var att hans arbetare transporterade arbetsstyckena mellan maskinerna och laddade också maskinerna.

På 1980-talet hade CNC-maskinerna blivit så billiga att bilfabrikerna började pensionera de klassiska transferlinjerna och ersätta dem med CNC-maskiner. Skälet till bytet var att oron för ändrad konstruktion av de producerade detaljerna på grund av förändrade lagar och av ökade konkurrens. En oplanerad ombyggnad av transferlinjer skulle påverka den totala produktionen. En tillverkning baserad på CNC-maskiner är mycket snabbare att förändra än en transferlinjebaserad produktion.

Man anade dock att CNC-maskinerna skulle komma att producera exakt samma detaljer under hela sin livslängd men man betraktade kostnadsökningen för CNC-maskinerna som en försäkringspremie för totalt oväntade händelser.

I och med detta skifte gick man ifrån den centrala tanken att dela upp tillverkningen i en serie av flera enkla moment som utfördes i enkla maskiner till att göra så många tillverkningsmoment som möjligt i varje maskin. Att minimera antalet uppsättningar är den vinnande strategien vid tillverkning i CNC-maskiner.

Montering

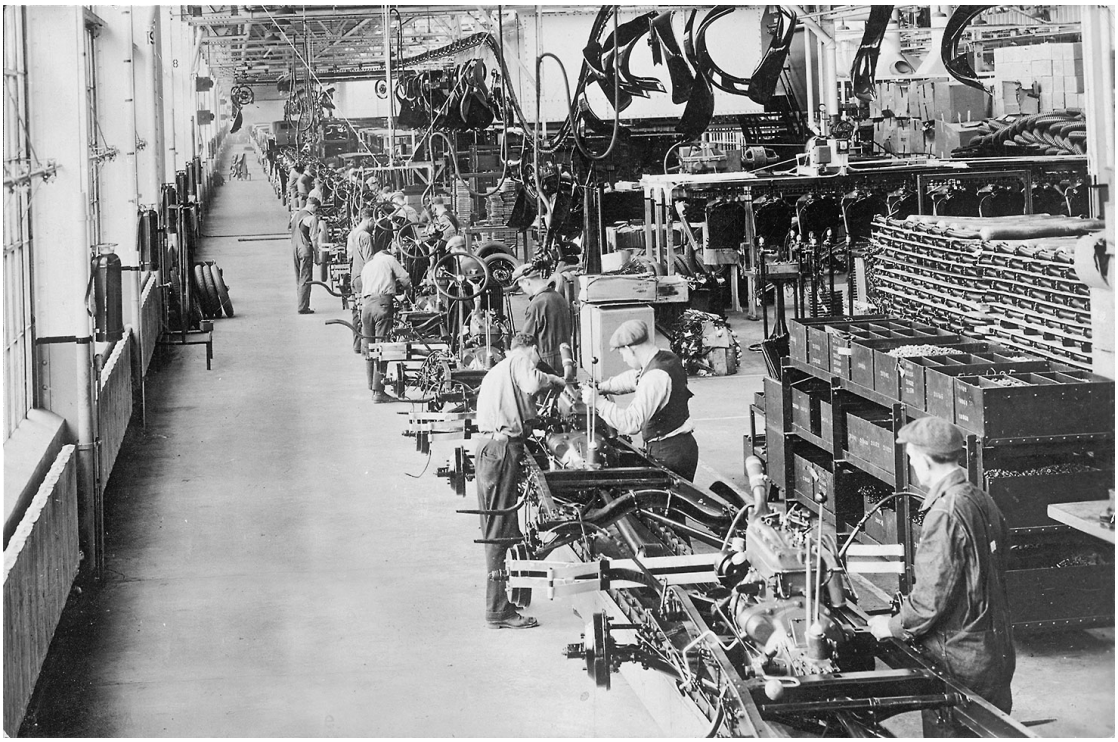
I det fall verkstadsföretaget tillverkar apparater eller maskiner behöver de komponenter som tillverkats eller köpts in monteras. Det sker i monteringsavdelning.

I verkstadsindustrins begynnelse var både mätverktyg och verktyg för tillverkningen inte särskilt noggranna utan komponenter tillverkades och anpassades till varandra av mekanikern och hans hjälpredor. Det fungerade eftersom apparaterna och maskinerna beställdes, tillverkades och såldes styckvis. Under den senare delen av 1700-talet började hantverkare tillverka lås, hänglås och kammarlås (låsmekanismer för innerdörrar) i större mängder fast det berodde nog mest på att antalet hantverkare blev stort. År 1771 bildades fristaden Eskilstuna som en hantverkarstad och femton år senare fanns knappt 240 hantverkare i Eskilstuna. Omkring 1850 började hantverkare att skaffa verktyg och maskiner för masstillverkning och vid 1880-talet fanns många låsfabriker i Eskilstuna.

Vid sekelskiftet 1900 startade flera fabriker med tillverkning av tändkulemotorer som är lite mer komplexa än kammarlås. Dessutom hade man kommit så långt med mättekniken och verktygsmaskinerna att man förmådde bearbeta kompoenterna till ritningsmått så man behövde inte inpassa delar vid montering. Därför fick en del verkstadsarbetare arbeta med montering och det var en liten start för monteringsavdelningar.

I stort sett skedde samma utveckling i USA men där var bilindustrin under tillväxt. Flera bilfabriker byggdes upp och varje fabrik tillverkade några hundra bilar årligen. Bilarna byggdes mer eller mindre hantverksmässigt.

År 1903 startade ingenjören Henry Ford företaget Ford Motor Company, förlagt till Dearborn i Michigan, med visionen om att producera en bil som alla människor hade råd att köpa. Henry Ford hade tidigare varit anställd av Cadillac och deltagit i konstruktionen av deras första bil som började tillverkas 1902. År 1908 startade Ford tillverkning av Modell T vanligtvis kallad T-Ford som hade ett introduktionspris av 950 dollar. De första åren därefter ökade priset en smula men Ford rationaliserade massproduktion av delar och introducerade 1914 det löpande bandet i monteringen. Det löpande bandet består av monteringstationer med grupper av människor som monterar ett antal komponenter på den blivande bilen medan den långsamt dras förbi stationen. Vid varje station finns ett litet lager av de komponenter som ska monteras. Henry Fords vision förverkligades för 1927 efter att totalt 15,5 miljoner T-Fordar tillverkats kostade bilen 250 dollar. Det dröjde inte länge förrän löpande band infördes på andra verkstadsindustrier än bilfabriker. Fabriker som tillverkade symaskiner, skrivmaskiner, kylskåp och dammsugare osv anammade det löpande bandet.



Ett löpande band i en bilfabrik på 1930-talet. Foto från Wikipedia.

Vitsen med det löpande bandet är att arbetena vid stationerna tar lika lång tid. Bandet gör monteringsarbetet effektivt, ingen av bara väntar. Den stora fördelen med bandet är samtidigt dess största svaghet, om det strular med något på en station måste bandet stoppas och nästan alla väntar. Bilindustrin gick på nytt före och löste detta problem om det blivit ett fel i monteringen på någon station genom att sända med en lapp som beskrev felaktigheten med detta exemplar av bilen innan den löpte till nästa station för fortsatt montering. De lappbehängda bilarna fördes senare till en justeringsplats när de lämnat det löpande bandet.

Omkring 1980 hade bilarna blev alltmer komplexa vilket ökade risken för fel och så många som var tionde till var åttonde bil behövde justeras lades ett stort arbete ner på justeringen, extra stort eftersom felet hade blivit inbyggt. Det extraarbetet kunde undvikas om bilarna under uppbyggnaden transporterades på vagnar som kunde länkas ut ur det löpande bandet och parkeras vid stationen där felet uppstod och att varje station fick en parkeringsplats vid sin ingång. Stationerna fick arbeta mer individuellt och tåget av bilar under byggande fick fungera som ett dragspel och balanserade ojämnheter i arbetet.

Ett löpande band byggs upp för en bilmodell och blir det inte optimalt om det ska användas till andra modeller. Detta var karatäristiskt för T-Forden, den levererades bara i en modell. Henry Ford sa själv att en köpare av en T-Ford kunde få den i vilken färg han önskade under förutsättning att han valde svart färg. Detta var sant från 1914 till 1924. Dagens bilköpare kräver valfrihet vad gäller specifikationer, utrustning och utseende som egentligen går emot det som löpande band erbjuder men en bit in på 1980-talet löstes även det. Fler arbetare på varje station och mer monteringsarbete samt det viktigaste en stor dator som håller reda på var varje bilidentitet befinner sig och styr transport av rätt komponenter till rätt monteringsstation.

För att minska tiden på monteringsbandet började bilfabrikerna att förmontera de tillverkade delarna till större komponenter eller köpte in större komponenter av underleverantörer. Skämtare påstår att helst skulle slutmontering av bilar bestå av att inköpta fram- och bakdelar skruvades samman på monteringsbandet.

För att minska färdiglagret av tillverkade bilar så startades tillverkning av en bil först när den blivit beställd. Det var inte slutkundens beställning som räknades utan det var bilförsäljarnas beställningar. Detta minskade bilfabrikens kostnad för lagerhållning och överförde en del av det ekonomiska risktagandet på bilförsäljarna. Försäljarna ska beställa bilarna ungefär ett år innan leverans men de har nog båttre kontroll på vad slutkunderna önskar sig än vad bilfabriken har.

Bilfabrikerna har genom sin långt drivna massfabrikation och försök med nya produktionsformer varit exempel för stora delar av verkstadsindustrin.

Monteringsband för Porsche 911. Foto från Wikipedia.

Montering med löpande band är inte lösningen på all montering inom verkstadsindustin utan bara när det gäller stora komplexa produkter med många komponenter, som kräver totalt sett mycket arbetstid samt gäller ett stort antal produkter. Ändå större produkter med mycket långa arbetstider för montering som exempelvis pappersmaskiner eller kraftverksmaskineri där mycket av monteringsarbetet sker hos kunden kräver en annan organisation av monteringsarbetet.

Ett exempel på montering av en pressgjutmaskin visas med ett kort videoavsnitt med komprimerad tid på adressen https://brukshistoria.se/?page_id=344

Likaså om produkten bara innehåller ett litet antal komponenter eller är så liten att den bekvämt hanteras från en plats. Två viktiga förutsättninger kan ändå hämtas från löpande band, det ska vara rätt antal kompetenta montörer och rätt material för monteringen ska finnas på plats hos montören vid rätt tidpunkt.

Verkstadsindustrins byggnader

Smedjorna var de första verkstadsbyggnaderna och deras tak och väggar skyddade smederna från väder och vind. De var i allmänhet byggda av sten för att vara mera skyddade mot vådeld än träbyggnader, fönstren var små gluggar som inte släppte in några större ljusmängder. Det gick an ty arbetsstyckena höll med tillräckligt ljus för arbetet. Samma sak gällde för gjuterier som etablerades i början av 1800-talet men vissa delar av arbetet krävde mer ljus exempelvis formtillverkningen. Det tillgängliga artificiella ljuset var klent, det krävdes dagsljus. Nybyggda smedjor och gjuterier försågs med åtminstone en vägg med stora fönster.

Under 1820-talet började verkstäderna använda maskindrivna utrustningar som drevs av en ångmaskin via en centraltransmission. Den hade en huvudaxel med remskivor som i sin tur drev maskinerna. Det påverkade verkstadsbyggnadernas utformning, en lång och smal byggnad för en eller två rader maskiner och en rad arbetsbänkar mot norrväggen. Byggnaderna uppfördes med sten eller tegel och både norr- som södervägg fick stora och höga fönster. Vid arbetsbänkarna sköttes finjusteringen av tillverkade delar med manuella metoder och där behövdes det bästa ljuset för filning och skavning, mycket himmelsljus och inget bländande soljus. Ofta gjordes byggnaderna i två plan där övre våningen användes för finmekanisk verkstad och kontor.

Med tiden blev tegelbyggnaderna mer populära bland annat för det var enklare att hänga upp lyftdon i balkar där de behövdes och som lades på långväggarna .

Teckning av Bolinders verkstäder (gjuteri) på Kungsholmen vid Klara sjö i Stockholm år 1872. Teckningen från Wikipedia.

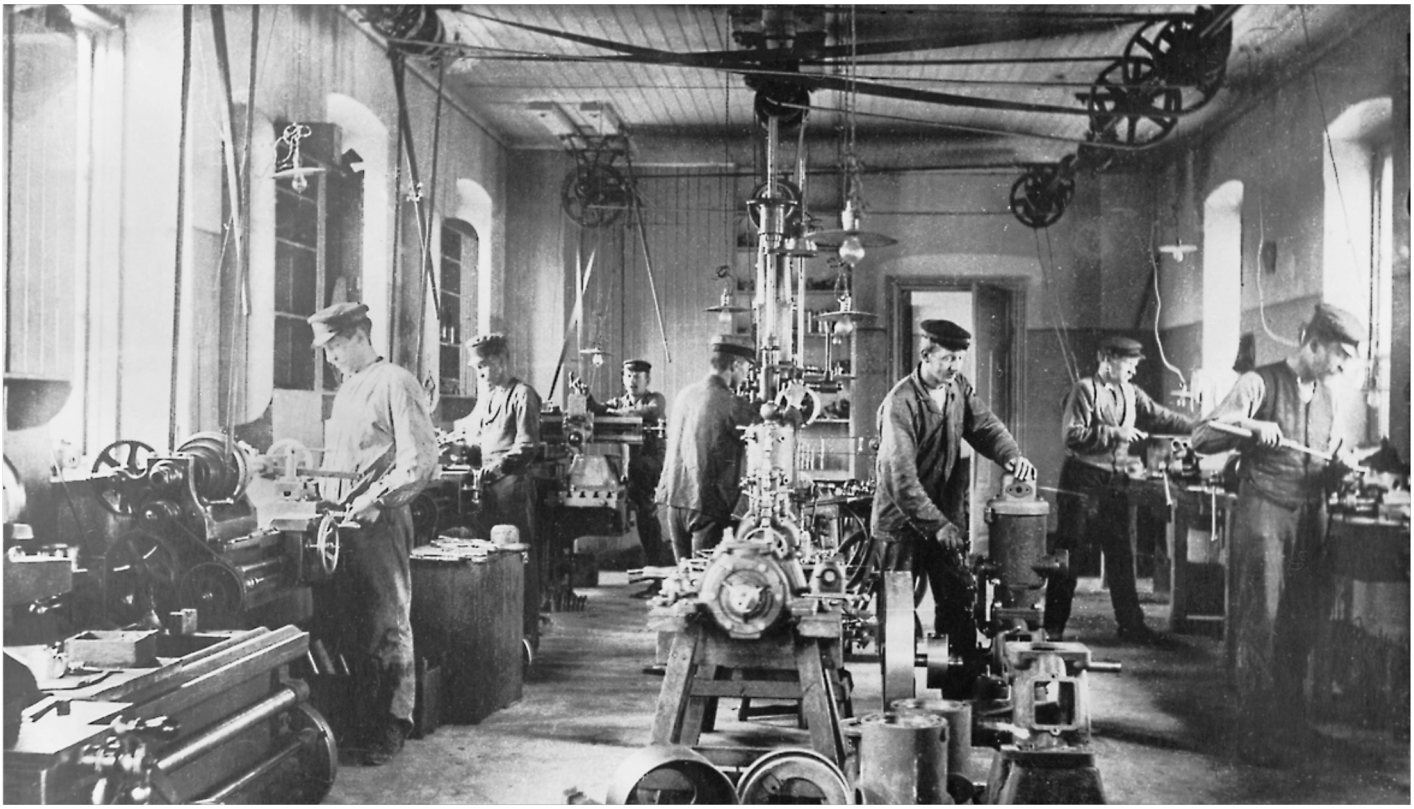
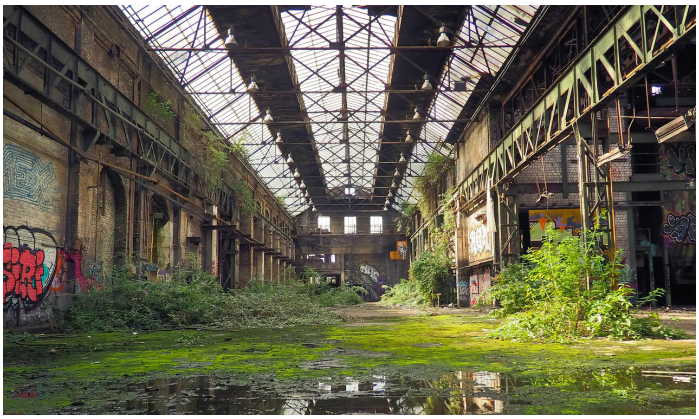


Bild av verkstadsinteriör från AB Pythagoras i Norrtälje cirka 1902. Maskiner och centraltransmission samt filbänkar utefter norra sidan av verkstaden. Foto från Tekniska Museet.

Med större verkstadsbyggnader var det nödvändigt att förbättra arbetsljuset i verkstaden även mitt på verkstadsgolvet. Detta gjordes med takfönster eller lanterniner men solljuset trängde också in och bländade i den relativt mörka verkstaden. Kring sekelskiftet 1900 inspirerades verkstadsfolk av ett engelskt sätt från mitten av 1800-talet att lösa belysningsproblemet i verkstaden. Taken gavs en sågtandformad silhuett och de brant lutande delarna ersattes med fönster som var riktade mot norr. Fönstern släppte bara in himmelsljus och inte direkt solljus. Himmelsljuset föll snett uppifrån och spred sig över golvet. Ett fint exempel på detta byggnadssätt finns i Norrrtälje vid industrimuseet Pythagoras. På Skansen i Stockholm har det bygggts en

kopia av halva Pythagoras verkstadsbyggnad. Maskinerna och verktygen kommer dock inte från Pytagoras utan från Julius Åbergs Mekaniska Verkstad i Stockholm.



Övergiven verkstad med takfönster, liknar nu mer ett växthus. Bild från Wikipedia.

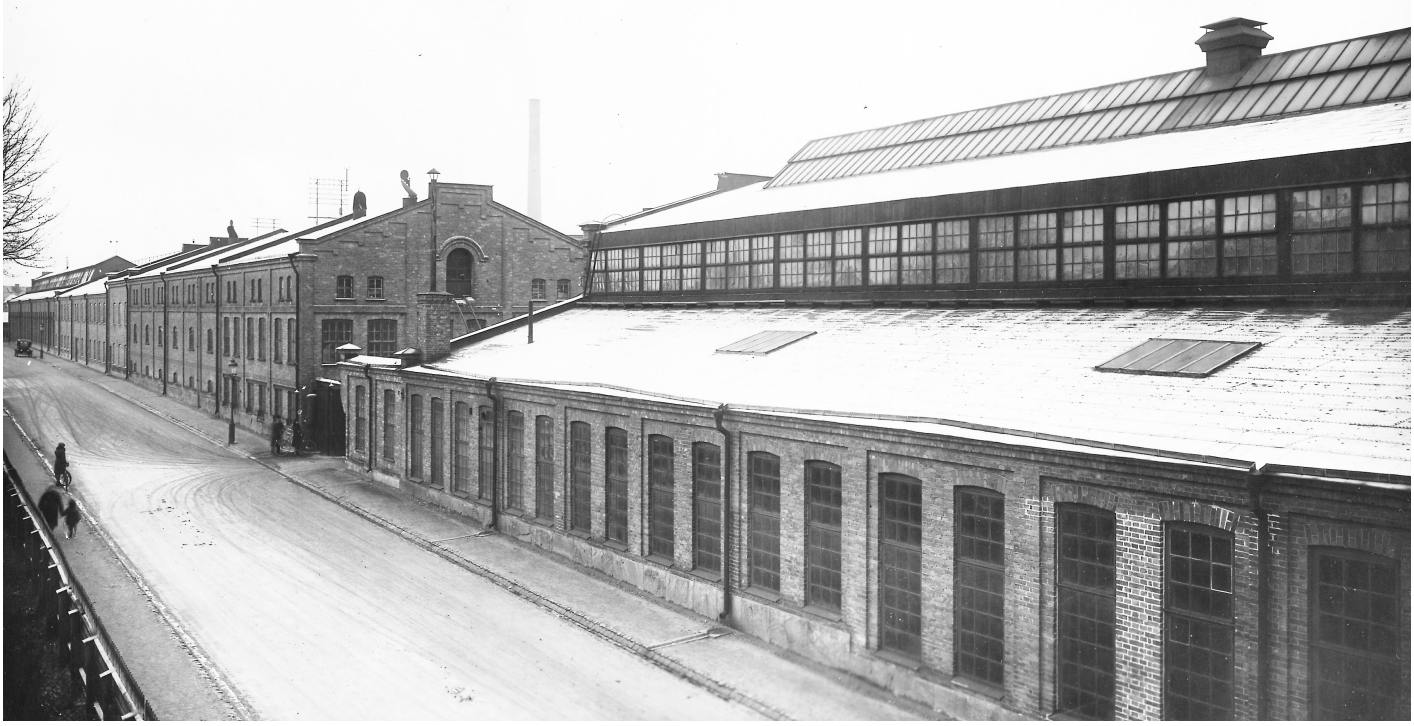
Tömd verkstadslokal med sågtandformat tak. Bild från Wikipedia.

Transportstyrelsens informationsmärke om industriområde, den välbekanta silhuetten av ett sågtandstak.

Sågtandtak på Pythagoras verkstad i Norrtälje, byggd 1911-1917.

Svensk verkstadsindustri fick ordentlig fart från sekelskiftet 1900 och åtskilliga verkstadsbyggnader nybyggdes, många i städer men också på landsbygden. Ångmaskiner eller tändkulemotorer drev maskinerna så fabrikerna var inte längre bundna direkt till vattenfallen. Vattenkraftverk byggdes upp och producerade lokalt elkraft för belysningsändamål vilket gagnade verkstäderna. På 1920-talet klarade man att överföra el över långa distanser och stora kraftverk hade byggts i de stora älvarna så att industrin fick billig elkraft inte bara för belysning utan också för maskindrift. Fortfarande var centraltransmissioner använda men de drevs av en elmotor. På 1930-talet blev elmotorer billiga och mindre så centraltransmissionerna övergavs och varje maskin drevs av en egen motor. Elbelysningar blev effektivare det behövdes inga stora fönsterytor längre.

Allt detta påverkade fabriksbyggnaderna. Fortfarande var tegel det vanligaste byggnadsmaterialet men byggnaderna gjordes mindre långsmala och fönsterytorna blev mindre. På 1940-talet började lättbetong att produceras och det möjliggjorde ett modernt byggsätt av verkstadsbyggnader. En plan golvplatta gjuts av betong och på den reses ett stålskelett som har mycket kraftiga pelare som bär upp ett platt tak och rälsar för traverser. Väggarna består av stora lättbetongblock som egentligen inte bär något annat än sig själva. Fönstren är få och små och de används nog bara för att kontrollera vad som väntar utanför portarna. Såna verkstadsbyggnader går snabbt att bygga, bygga om, bygga ut eller riva, något som är värdefullt när marken är begränsad. Kontor, omklädningsrum, matsalar och annat finns ofta i anknutna eller fristående byggnader.



Några av Karlstad Mekaniska Verkstads byggnader omkring år 1910. Typiska verkstadsbyggnader. Foto Tekniska Museet.

Verkstadsbyggnad i Stråssa byggd cirka 1908 av Metallurgiska AB. Fabriksfasader vända mot gator i samhällen gavs ibland imponerande utseende men denna byggnad låg i ett avlägset gruvområde och avsågs nog mest att imponera på aktieägare och kreditorer.

Verkstäder är mycket renare nu än de var förr, ett skäl att det bearbetas mindre gjutjärn nu. Kolet i form av grafit ligger ju fritt och bildar särskilt vid skärande bearbetning ett finkornigt svart damm som tränger in överallt. Vidare har nästan alla maskiner kåpor över bearbetningsutrymmet och med luftutsugning av damm, rök och ångor som bildas från bearbetningsutrymmen blir det renare runt maskinerna. Dessutom målas betonggolven för att inte partiklar och oljor inte ska häfta fast i golvet. De moderna verkstadslokalerna är ofta målade i ljusa pastellfärger och människorna i verkstaden behöver i de flesta fallen inte använda grova skyddskläder. Nackdelen är då att det är svårt att skilja besökare från dem som arbetar i verkstaden.

Ett exempel på en modern typ av fabriksbyggnad. Foto Välinge Invest.

När Volvo byggde sin motorfabrik i Skövde användes CNC-maskiner i stället för en tranferlinje. I varje turkosfärgat plåtskåp döljer sig en CNC-maskin som genom att byggas in lämnar spånor och skärvätska i avfallsbehållare i stället för att skräpa ner golvet. Rök och damm som alstras under bearbetningen i maskinerna sugs bort och släpps inte heller ut i verkstaden. Foto Volvo Cars.

Verkstadsföretagens framtid

Verkstadsföretag måste nu göra vinst genom att utveckla och tillverka egna produkter samt sälja dem till en allmänhet, myndigheter, organisationer och företag, inte minst andra verkstadsföretag. Ofta tillverkas delar direkt åt andra företag. På 1970-80-talen användes de pengar som produktionen genererade till mycket vinstgivande finansiella operationer som säkrade företags totala vinst trots att produktionen drevs med

förlust. När dessa operationer snabbt miste sin lönsamhet stod företag endast kvar med sin förlustbringande produktion och en lång näsa. Många fick då lära sig en läxa. Nyckeln till framgång är numera att det finns en efterfrågan och en vilja att betala för det som verkstadföretaget hittar på och har förmåga att tillverka.

Historien har åtskilliga belysande exempel på framgångar och misslyckanden. Vi kan titta på hur Ford Motor Company stod nära ruinens brant. I slutet av 1940-talet hade bilmärket Ford blivit ett lågstatusmärke och Ford Motor Company beslöt att ta fram en bil som kunde konkurrera med de övriga amerikanska bilmärkena. År 1958 fanns det nya bilmärket Edsel, helägt av Ford Motor Company, efter en mycket lång och dyrbar reklamkampanj att köpa i ett antal modeller. Kort sagt var detta fel bil vid fel tidpunkt, bilen var för modern och skiljde sig från det man var van vid. Dessutom tillverkades Edsel på samma monteringsband som Lincoln och Mercury. Dessa märken ägdes också av Ford Motor Company. Montörerna var ovana med den nya Edseln och åtskilliga komponenter monterades aldrig och det slarvades med kvaliteten. Recensenterna som betygsatte Edsel gav underbetyg och ilskan över kvalitetsbristerna var mycket stor. När sedan i en sur kommentar kylargrillen liknades vid ett kvinnligt könsorgan var loppet kört för Edsel. Den kommentaren spreds mycket snabbt över världen och slog knockout på alla reklamkampanjer. När bilmärket Edsel och produktionen 1959 (modell 1960) lades ner hade knappt 120 000 exemplar av Edsel tillverkats. Man hade räknat att vid ungefär 700 000 producerade bilar hade utvecklingskostnaderna betalts. Företaget hade också förlorat knappt 20 000 dollar på varje såld bil. Konkursen var nära men under största panik utvecklades en ny bil, Ford Mustang, som började säljas 1964 och blev mäkta populär. Bilmodellen har fått åtskilliga ansiktslyftningar och tillverkas fortfarande fast nu i blygsamt antal. Kanske en av bilvärldens största succéer.

Edsel Pacer årsmodell 1959. Foto Loungelistner.

Ford Mustang årsmodell 1964. Foto Dave_7.

Utveckling av produkter och produktion kräver både skolning och erfarenheter. Sverige var långt framme på båda punkterna. Från slutet av 1700-talet kom inflyttande till vårt land åtskilliga engelsmän och skottar som varit delaktiga i den industriella revolutionen. De förde med sig i bagaget kunnande och erfarenheter om fabriksverksamhet.

Nummer XV i Christopher Polhems mekaniska alfabet. Vrids veven på det halva kugghjuler går stången fram och tillbaka. Foto Anna Gerdén, Tekniska Museet.

Tekniska högskolor startades i centraleuropa i början av 1800-talet och svenskarna ville inte vara sämre. Den Mekaniska Skolan hade startat 1798 och grundat sin undervisning på Christopher Polhems modellsamling Mekaniska Alfabet. Undervisningen var i huvudsak praktiskt orienterad. Verksamheten övergick till Teknologiska institutet vilket grundades 1827. Undervisningen var på grundläggande nivå men den skruvades upp från och med 1846. I nya stadgar 1867 skulle institutet meddela erforderlig vetenskaplig utbildning och tio år senare

blev Teknologiska institutet den Tekniska högskolan som så småningom ändrade namnet till Kungliga Tekniska Högskolan och då hade Sverige skaffat sig de första riktiga civila ingenjörsutbildningarna.

Nu fanns bättre förutsättningar i Sverige att uppfinna och utveckla tekniska apparater och det märktes på de många uppfinningar som gjordes i verkstadsindustrin i slutet av 1800-talet och början på 1900-talet. Uppfinningar gjordes inte bara av människor utbildade i Sverige utan även många som hade skaffat sig utbildning och träning utomlands, främst i Tyskland. Exempelvis Lars Magnus Ericsson utbildade sig i Tyskland och Schweiz 1873-1876.

Verkstadsindustrin har genom den snabba utvecklingen blivit mycket kunskapskrävade och behöver fler välutbildade ingenjörer men även tekniker och yrkesarbetare. Verkstadsindustrin skulle kunna växa både i storlek och styrka om det fanns fler kompetenta att anställa. Skolsystemet som tagit på sig ansvaret för grundläggande utbildning har misslyckats med detta eftersom elevernas betyg och kunskapsnivå försämrats när både arbetsliv och högre utbildning kräver bättre kunskaper. Skolsystemet svarar med att minska kurser och deras innehåll för att höja elevernas betyg medan bättre kunskaper framför allt bör prioriteras. Även tekniker- och yrkesutbildning behöver stärkas. Några få företag driver i friskoleform egna utbildningar men anställer omedelbart de färdigutbildade så att merparten av verkstadsföretagen måste ändå till sist lita på skolsystemet. Det måste bli bättre för att verkstäderna ska överleva i Sverige.

Samhället måste också se till att företagsklimatet är gott inom landet för att låta företagen utvecklas och växa. Det måste finnas goda etableringsmöjligheter och en snabbfotad byråkrati, det är med ett nu populärt politiskt uttryck oacceptabelt att vänta på ett besked om etableringstillstånd i tiotals år, affärsidéer och möjligheter hinner bli hopplöst föråldrade under så lång tid.

Samhället ska däremot inte värdera och styra affärsverksamhet om den håller sig innanför lagens gränser. Även här finns avskräckande exempel, bland annat från varvskrisen som började 1971 när Götaverken hotades av konkurs.

I Sverige fanns då en mycket stor varvsindustri specialiserad på stora oljetankers. Japanska varv visade sig då skickliga att producera tankfartyg lite billigare än de svenska varven som under efterkrigstiden skurit guld med täljkniv. Dessutom fick japanerna hjälp av japanska staten med långfristiga lån till låg ränta för redarna. Uddevallavarvet hade strax innan fått statens hjälp och nu var det Götaverkens tur. Sahlénrederierna skulle skjuta till 150 miljoner kronor i nytt aktiekapital om svenska staten lovade att lösa ut Sahlén om det blev nödvändigt. Genast satte Götaverken igång ett stort investeringsprogam för att öka produktionen utan att någon observerade det verkliga problemet, det fanns redan en global överproduktion av oljetankers. De svenska lönerna steg kraftigt och produktiviten sjönk. Sedan ändrades penningvärdet ogynnsamt, fartygen betalades i dollar som sjönk i värde och kortare lån togs i schweizerfranc för den lägre räntan. Francen steg i värde och intäkterna minskade samtidigt som skulderna ökade. Allting blev fel. Inga varvsarbetare blev dock upppsagda det var LOs och statens mål.

Så kom oljekrisen 1973-1974 och ett statligt produktionsstöd gick till varven. Med detta stöd fylldes Bohusläns fjordar med supertankers ingen ville köpa. Flera år senare tog man fram skärbrännare och skar sönder fartygen, plåtarna var mer värda än fartygen. Fartygsbeställningar återtogs, avbetalningar på levererade fartyg minskade och redare, däribland Sahlénrederiet, gick i konkurs så därifrån kom aldrig några pengar.

År 1977 bildades det statliga Svenska Varv som tog hand om alla varv och lade ner de flesta, bara en liten rest av Kockums och Götaverken blev kvar. Uddevallavarvet lades ner 1985 då det statliga produktionsstödet upphörde. Det hade kostat statskassan 34 miljader kronor och det gav ingenting, endast osålda fartyg.

Visst har verkstadsindustriföretag förutsättningar att klara sig bra här om vi värnar om dem och undviker att motarbeta dem. Deras export gör det möjligt för oss att inportera apelsiner, franska viner, mobiltelefoner och andra mer eller mindre nödvändiga varor. Det finns grupper av människor som anser att industri är onödig hos oss och att vi endast ska ha ett tjänstesamhälle men i ett sådant samhälle kommer på sikt varje människa att förtjäna sitt uppehälle på att hugga ved åt andra.

Det är också viktigt att säkra svenska lånepengar till företagen. Utländska investeringar är nog bra men de ska inte vara så stora att att de dominerar ägandet. Annars kan den utländske ägaren, om han blir irriterad på

det dåliga vädret eller något annat, att ta sina maskiner, produkter och kunnande och flytta utomlands. Då får vi i förlängningen ett industrifritt Sverige.

I slutet av 1980-talet var vinsterna för den amerikanska bilindustrin hyggliga men utbudet av bilmärken var att betrakta som dussinvaror. De tre stora bilföretagen i Detroit, General Motors Corporation med tio bilmärken, Ford Motor Company med tre bilmärken och Chrysler Corporation med sex märken, såg sig om i världen och undersökte möjligheter att köpa in främst europeiska premiummärken för att komplettera till sina vardagsbilar. De hade förmodligen observerat Audis långa, strävsamma och dyrbara väg till ett premiumstatus och bedömt att köpa ett redan färdigt mindre bilmärke var ett enklare och snabbare sätt.

Ford var kvickast ut och köpte år 1987 Aston Martin och 1989 Jaguar samt lite senare 1999 Volvo och 2000 Land Rover. Därmed var det inte så många över till General Motors som egentligen önskat köpa Jaguar men då det var redan var sålt till Ford fick GM hålla tillgodo med SAAB Automobile AB som enbart innehöll personbilstillverkningen och köptes till 50 % år 1989. SAABs tidigare ägare, Investor AB, behöll den andra hälften. År 2000 utnyttjade GM den option man fått vid köpet att överta resten av aktierna och då blev GM helägare till SAABs personbilstillverkning. SAAB hade gått uselt innan uppköpet medan Volvo ekonomiskt klarade sig skapligt.

Sådana uppköp gagnade inte bara det stora företaget, det lilla företaget kunde få stöd och bättre ekonomisk säkerhet. Det hade blivit väldigt dyrt bland annat att utveckla nya bilmodeller för nationella och internationella tvingande regler hade kommit till för att förbättra bilars säkerhet och rena deras avgasutsläpp. De små biltillverkarna hade frivilligt börjat samarbeta om att bland annat konstruera gemensamma bottenplattor det vill säga de undre chassiedelarna inklusive motor, transmission, hjul och hjulupphängning.

Volvo fick ett amerikanskt ledningssystem vilket avvek från de vanliga europeiska men det gick att hantera och Volvo tilläts utveckla nya bilar själva och tillsammans med Fordgruppens företag. SAAB däremot fick inga resurser att utveckla sina bilmodeller utan tvingades att använda stora delar av Opel Vectras komponenter. Dessutom användes SAABs märke till att pryda några av GM-gruppens medelklassiga märken. Det tar lång tid att bygga upp premiumstatus för ett bilmärke men premiummärkning kan försvinna i en handvändning. Man får det intrycket att GM försökte ge sina egna bilmärken premiumstatus utan att bry sig om vad det kostade SAAB.

En stor finanskris svepte över världen 2007-2008 vilken stoppade bland annat bankernas utlåningsverksamhet och höjde råmaterialpriser, särskilt bensinpriset. Det drabbade bilindustrin i hela världen, det var egentligen bara sydkoreanska bilfabriker som inte fick någon större nedgång. Tvärt om verkade krisen förödande på den amerikanska bilindustrin som helt och hållet satsat på stora bränsletörstiga SUVar (SUV Sport Utility Vehickle, på svenska stadsjeep). Små bilar tillverkades i liten skala av Chrysler men det sades att vinsten på tio småbilar var lika stor som från en SUV. De små bränslesnåla bilarna från Europa, Japan och Sydkorea konkurrerade ut de amerikanska bilarna. General Motors, Ford och Chrysler hotades av konkurs och bildirektörer i Detroit flög i skytteltrafik med leasade affärsjetflygplan till Washington för att tigga pengar av president och kongress. Bilföretagen fick nödlån men det var inte tillräckligt så att 2009 konkursade General Motors och Chrysler. Konkursdomstolens första åtgärd var att säga upp leasingkontrakten på affärsjetplanen. Därefter såldes allt utom spillrorna av den amerikanska verksamheterna ut för att rekonstruera dem.

När SAAB skulle säljas var GM rädd att SAABs tillgångar skulle hamna i rysk eller kinesisk ägo så att efter många turer hamnade SAAB år 2010 hos det holländska företaget Spyker Cars. I affären ingick även ett lån på 4,2 miljarder kronor från Europeiska Investeringsbanken som svenska staten stod som garant för. Spyker hade haft besvärligt att skaka fram köpeskillingen och hade egentligen inte pengar för driften så löner och betalning till underleverantörer betalades inte ut. Underleverantörerna svarade med att stoppa leveranserna vilket stoppade produktionen och alla inkomster. SAAB sålde en del verkstadslokaler och sökte kontakt med två kinesiska företag för att sälja verksamheten. På nytt valde GM att inte tillåta licenser till de nyare SAAB-modellerna följa med i en försäljning varvid köparna hoppade av och SAAB tvingades i konkurs 2011. Konkursen var kanske billigare för GM än att lägga ner företaget vilket man hade hotat göra två år tidigare.

Även Ford fick lov att sälja av sina nyligen inköpta företag för att överleva. Ford klarade upp sin ekonomi på egen hand och återkom, visserligen något stukat. Volvo såldes år 2010 i god ordning till kinesiska Zhejiang Geely Holding Group. Volvo klarade sig helskinnad genom finanskrisen och verkar ha utvecklats gott.

Just nu lever vi i en globaliseringstid, nationsgränser skapar mindre hinder för affärer och företagsetablering. Det kan ju verka positivt ur den svenska industrins synpunkt men då har man inte tänkt färdigt. Svenska företag kan lättare och snabbare nå stora utländska marknader men i gengäld når utländska företag den svenska marknaden. Den knallhårda konkurrensen når också den tidigare väl skyddade interna svenska marknaden. Här gäller det att utveckla konkurrenkraftens huvuddelar som priset, kvaliteten och produkternas användarnytta.

Priset innehåller delar som företagen inte direkt kan påverka som löner och skatter, för att sänka kostnaderna måste materialkostnaden sänkas, mer rationella och billigare tillverkningsmetoder utvecklas. Detta måste man ständigt och idogt arbeta med. Det finns inget utom nedgång som fungerar automatiskt, all framgång kräver planering och massor av arbete. Problem med konkurrenskraften kan i framtiden inte lösas med samma metod vi använde under 1970-80 talen, devalveringar och skyhög inflation.

Liknande hårda arbete krävs också vid utvecklingen av produkter och kvalitet. Ett företag kan vila på lagrarna ett tag efter en lyckad produkt när det bara finns enstaka konkurrenter men med globaliseringen har det tillkommit hundratals eller kanske tusentals medtävlare som fått nya riktmärken. Då Sverige har större omkostnader måste vi kunna tillverka bättre produkter till högre kvalitet för att fånga köpare trots ett högre pris.

De svenska företagen utnyttjar naturligtvis globaliseringens fördelar, de hittar bättre och billigare komponenter till sin produktion. Ordet komponenter är för övrigt lite föråldrat och ersätts ofta med beteckningen insatsvaror. Det är dock riskabelt att ha en enda fabrik som leverantör, det kan hända oförutsedda saker som gör att insatsvaror inte kan levereras och då stoppas den egna produktionen. Det bör alltid utformas planer för ovanliga situationer.

Om allt detta arbete med produktion och affärer måste tillsammans med det osynliga planerings- och utvecklingsarbetet sköts av kunniga och duktiga medarbetare har verkstadsindustrin en framtid i Sverige. Vi har ju trots tillfälliga motgångar en lyckad historia för industrin i vårt land. Den kritiska nyckelfrågan är utbildning av ungdomar och även äldre, de behöver få nödvändiga kunskaper genom skola och andra utbildningsinstitutioner. I ungdomarnas fall behövs också ansträngningar från staten och företagen för att få dem att stanna i Sverige eller i varje fall få dem att återvända efter utbildning i utlandet.