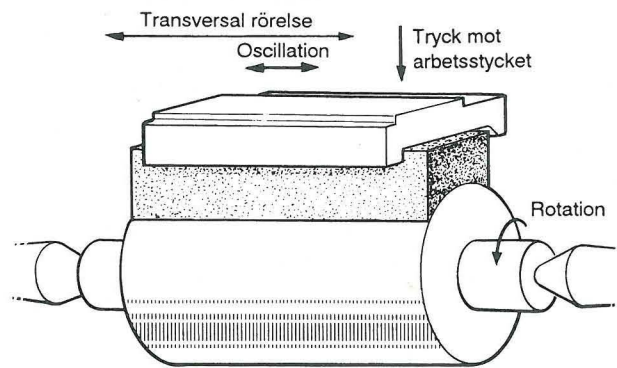


## 6.3 Metoder för att åstadkomma extremt fina ytor och toleranser

### 6.3.1 Hening

Med *hening* avses en bearbetningsmetod där arbetsstycket bearbetas med fast bundna slipverktyg, henar, som relativt arbetsstycket utför flera rörelser och därvid avskiljer spån, se vidare figur 6.41 som beskriver principen för finhening. Hening används för bearbetning av både hål, ytterdiametrar och plan. En eller flera henar bearbetar arbetsstycket samtidigt. Med olika metoder pressas henen mot arbetsstycket och ligger i konstant ingrepp med detta. För att spånlängden ska bli lämplig måste de olika rörelserna väljas så att korsande bearbetningsrepor erhålls. Vanligen väljs de så att vinkeln vid grovbearbetning blir ca 45° och vid finbearbetningen 2–3°. Under heningsoperationen tillförs rikligt med olja, oftast utspädd med t ex fotogen i olika proportioner.



Figur 6.41  
Principskiss av  
finheningemetoden.

Med hening kan en betydande materialavverkning erhållas och goda ytjämnheter är möjliga att nå. Man kan i allmänhet utan svårighet få runda och raka hål, men däremot är det svårare att förändra ett håls läge och riktning.

*Finhening* är en bearbetningsmetod som i mycket påminner om hening. Även här bearbetas med henar, som relativt arbetsstycket utför flera olika riktade rörelser enligt figur 6.41.

Vid finhening pressas emellertid henen mot arbetsstycket med ett fjädrande tryck, vilket aldrig förekommer vid hening. Henen har vidare en betydligt högre oscillationshastighet. Även här tillförs olja under bearbetningen. Den tillförda oljan bildar en film på arbetsstyckets yta. De höga punkterna på arbetsstyckets ytskikt bryter emellertid igenom filmen varvid de blir åtkomliga för slipkornen i henen, som således skär av dem. Så småningom blir arbetsstyckets yta så fin att oljefilmen förmår bära upp henens tryck, varvid vidare materialavverkning upphör. Den ytjämnhet som kan uppnås är således beroende av henens belastning och dess relativa hastighet, kornstorlek och oljans viskositet.

Med finhening kan någon påtaglig ändring av form eller mått inte ske. Operationen används därför vanligen för att öka ytjämnheten efter slipning, som ger önskad form- och mått noggrannhet. Ytjämnheten kan dri-

vas mycket långt och under gynnsamma förhållanden går operationen snabbt.

På marknaden finns flera olika heningsmaskiner. De vanligaste är hydrauliska med anordning för automatisk tillsättning av henarna samt för kontinuerlig förändring av varvtal och hastigheter. De utförs vanligen vertikala men även horisontella typer finns. Arbetsstyckena fastspänns med hydrauliska eller mekaniska fastspänningsdon.

Finheningstrustningar byggs dels som maskiner, dels som tillsatsaggregat för monterat på svarvar eller slipmaskiner. Drivningen av henarna kan vara hydraulisk, pneumatisk eller elektrisk. Möjligheter till variation av presstryck och hastighet finns. Heningsmaskinerna utrustas ofta med automatiskt arbetande mätanordning.

### 6.3.2 Läppning

Läppning kan funktionsmässigt rent allmänt beskrivas som nötning under kontrollerade former. Metoden används för att åstadkomma hög form- och mått noggrannhet samt god ytjämnhet.

Vid *läppning* används ett läppverktyg samt *läppmedel*. Läppverktyget kan vara dornar, backar, plana skivor eller på annat sätt formade don. Verktygets uppgift är att fasthålla läppmedlet samt trycka det mot arbetsstycket. Spån avskiljandet sker genom att verktyget ger läppmedelskornet relativ rörelse till arbetsstyckets yta. Härför krävs då att läppmedelskornen hålls fast i verktygets porer. Om spånet tenderar att bli för tjockt blir skärkrafterna för stora och läppkornet lossnar. Läppverktyg tillverkas vanligen av gjutjärn, koppar eller blylegering. Läppning kan utföras för hand eller maskinellt.

Läppmedlet är ett finkornigt, hårt material i pulverform, som vid användningen vanligen blandas med olja. Kombinationer av olika läppmedel förekommer. De vanligaste utgörs av korund, kiselkarbid, borkarbid, kromoxid, järnoxid eller diamant. Oljans uppgift i den färdiga läppmedelsblandningen är dels att fördela läppmedlet, dels att genom smörjning underlätta spån avskiljningen. Genom variation av oljans sammansättning kan olika läppverkan erhållas. En fetare olja ger i allmänhet en finare yta och tvärtom.

För *invändig rundläppning* används vanligen en roterande fast eller expanderande dorn. Arbetsstycket hålls i handen eller inspänns på lämpligt sätt och ges under läppningen en oscillerande axiell rörelse.

För *yttre rundläppning* används tre olika metoder. Antingen sker läppningen med en uppskuren hylsa eller med diametralt mot varandra anordnade läppbackar, som med en tång kläms runt det roterande arbetsstycket, eller också placeras arbetsstycket mellan två plana skivor som roterar relativt varandra.

Vid *planläppning* anordnas en vertikal eller horisontal skiva, mot vilken arbetsstycket trycks antingen för hand eller med lämpligt verktyg. Särskilt vid de horisontala maskinerna har ett stort antal olika metoder för att hålla fast arbetsstyckena under läppningen utvecklats, och operationen kan ofta utföras utan någon kontinuerlig tillsyn.

Automatiska maskiner för både cylinder- och planläppning har utvecklats. Arbetscykeln är vanligen tidsreglerad. Läppmedel tillförs automatiskt.

### 6.3.3 Gradning

Nästan alla bearbetningsmetoder orsakar att grader bildas invid den bearbetade ytan. Dessa grader kan uppstå genom att metoden har använts fel eller att den skärande kanten är oskarp. Gradera kan bearbetas bort med flera metoder både på manuell och maskinell väg.

Numera accepteras inte att avgradning sker med hantverksmässiga och maskinella lågproduktiva metoder. I stället har högproduktiva maskinella metoder utvecklats. De hantverksmässiga metoderna är filning och skavning med speciella knivliknande handverktyg.

Det är två utvecklingsvägar som kan ses. En där de formgivande metoderna styrs så att graderna minimeras och en där avgradningen sker med maskinell utrustning.

Gradningen kan naturligtvis ske med manuella metoder om det sker som en sidoperation, om ledig operatörstid finns eller med automatiska metoder om volymerna är tillräckligt stora. De automatiska metoderna är ofta förenade med stora investeringar och har relativt låg flexibilitet såvida det inte rör sig om trumling.

*Elektrolytisk avgradning* (ECD) utnyttjar principen att metalljoner går i lösning om man använder en elektrisk ström mellan en anod och katod samt en elektrolyt. Elektroder och fixtur utformas så att en smal spalt uppstår mellan elektroder och grad. Elektroden är isolerad utom vid själva avverkningsstället. En vanlig spaltbredd är 0,5–1,0 mm. Bearbetningen kan fås att verka vid gradroten eller från gradens ovansida. Avverkningshastigheten beror på spaltbredd, elektrolytflöde och strömstäthet. Vanliga elektrolyter är natriumklorid eller natriumnitrat. Strömförsörjningen består av likriktare som kan variera spänningen mellan 5 och 30 V och strömmen mellan 250 och 4 000 A. Maskinen måste vara utrustad med automatiskt kortslutningsskydd. Flera kommersiella lösningar finns på marknaden.

*Termisk avgradning* (TEM) grundar sig på att graderna är tunna och känsliga för plötslig upphettning. Arbetsstycket eller arbetsstyckena som ska avgradas placeras i en kammare som kan tillslutas hermetiskt. Kammarerna fylls med en gasblandning bestående av vätgas och syre. Gasblandningen antänds av en elektrisk gnista och gasen förbränns inom några millisekunder. Under den korta tiden stiger temperaturen till uppemot 3 500°C, varvid partier som har stor yta och relativt liten volym brinner bort. Eftersom graden har en liten volym kommer dessa att smälta ned medan det övriga materialet är oförändrat. En förutsättning för tillfredsställande avgradning är att gasen kan tränga in överallt där grader sitter.

*Massavgradning* sker genom att en kittliknande slipmassa under högt tryck pressas förbi den gradförsedda kanten. Slipkornen i slipmassan nöter bort graden. För att styra slipmassan till bearbetningsstället och hålla arbetsstycket i fast läge måste en fixtur användas. Fixturen med arbetsstyckena placeras mellan två cylindrar varav den ena innehåller massan. Bearbetningen sker genom att slipmedlet pressas ett erforderligt antal gånger (slag) mellan cylindrarna via arbetsstyckena. De styrbara parametrarna är trycket på slipmassan, slipmassans hastighet, antal gånger (slag) och slipmassans sammansättning. Vidare har fixturen stor inverkan på ett lyckat resultat.

### 6.3.4 Blästring

Begreppet blästring innefattar flera olika metoder, men vi tar här endast upp s k *frustråleblästring*. Rensmedlet ges en hastighet med hjälp av tryckluft. Utrustningen kan vara av ejektortyp eller tryckkammartyp.

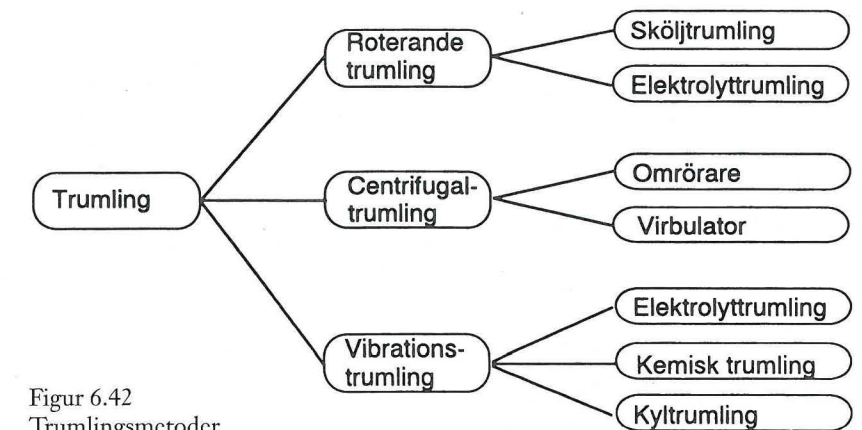
Vid *ejektortypen* suges rensmedlet genom ejektorverkan upp till munstycket, där det accelereras och blåses mot arbetsstyckets yta. Med tryckluft på 600 kPa kan rensmedlet ges en hastighet på uppemot 50 m/s.

Vid *tryckkammarmetoden* har man rensmedlet under tryck i en behållare. Rensmedlet får rinna ner genom en ventil under behållaren och rycks av luftströmmen med till munstycket. Rensmedlets hastighet är ungefär 75 m/s vid trycket 600 kPa.

Anläggningar för blästring bör utföras i s k *blästerskåp*. Ett sådant utförs av en sluten kammare, som invändigt är försedd med gallerbord, på vilket arbetsstycket placeras och hanteras utifrån. Operatörens händer och armar är därvid instuckna i gummimanschetter. Blästerstrålen riktas för hand utifrån. Vanliga rensmedel är gjutjärngranulat, olivsand, järnsilikat, aluminiumsilikat eller aluminiumoxid.

### 6.3.5 Trumling

Trumling är en sammanfattande benämning på en bearbetningsmetod för avgradning, slipning, glödskaiborttagning, glänsning och polering. Med trumling avses bearbetning i roterande trummor med avsikt att dels avverka material, dels att åstadkomma god ytjämnhet. Trumlingsprinciperna kan indelas enligt figur 6.42.



Figur 6.42  
Trumlingsmetoder.

Vi redovisar här enbart huvudprinciperna för roterande, centrifugal- och vibrationstrumling. För övriga metoder hänvisas till speciallitteratur.

*Roterande trumling* sker i 6- eller 8-kantiga roterande trummor. De är antingen horisontella eller har en viss lutning mot horisontalplanet. Trumling kan utföras torrt eller vått, d v s med eller utan vatten.

Detaljerna läggs i trummorna tillsammans med ett lämpligt slipmedel och vatten tillsätts, tillsammans med ett lämpligt rostskyddsmedel. Under trummornas rotation försätts massan i rörelse och detaljerna glider mot

varandra och mot slipmaterialet varvid materialavverkning sker. Genom att ändra "mängden detaljer-gods-slipmedel (form och medel)-vatten-tid" kan processen varieras och kontrolleras. I marknaden finns slipmedel för trumling som vanligen utgörs av korundstycken med olika kornstorlek *sk* *trumlingskärva*.

Trumling lämpar sig utmärkt för bearbetning av massgods och de moderna trumlingsmetoderna möjliggör kontroll av förloppet.

För att öka avverkningen i roterande trummor har en trumlingsteknik utvecklats som bygger på *centrifugalprincipen*. Ett antal trummor placeras på ett bord. För att erhålla en lämplig centrifugalkraft på lasten, sätts bordet i rotation samtidigt som trummorna får rotera. Det tryck som trumlingsmedlet åstadkommer genom centrifugalkraften på detaljerna, gör att ett finare trumlingsmedel har samma verkan som ett grövre. Komplicerade detaljer kan därför avgradas. Avverkningen sker snabbare, det rör sig om minuter, jämfört med konventionell trumling, som kan ta timmar.

Vid *vibrationstrumling* består utrustningen av ett tråg klätt med gummi. Tråget är upphängt i fjädrar och försett med dämpare. Godset placeras i tråget tillsammans med slipstycken, vatten och pH-regulator. Tråget sätts i vibration på ett sådant sätt att innehållet roterar. Vibrationerna har amplituder på 0,5–9 mm och frekvenser på 1 500–3 000 cykler per minut. Metoden är lämplig för gradborttagning samt slipning och polering av mindre detaljer.

### 6.3.6 Putsning

Med *putsning* avses metoder att ta bort grader och grövre ytojämnheter samt att förbättra ytjämnheten.

Putsning i avsikt att avlägsna grader och större ytojämnheter kan utföras antingen i golvfasta eller i handhållna maskiner. Till slipverktyg används ofta mer eller mindre elastiska slipskivor eller rondeller. Dessa består av ett ryggmateriale av duk, väv, fiber eller liknande belagt med slipmedel. Roterande borstar av fiber eller tråd av mässing, stål eller dylikt med eller utan tillsats av slipmedel förekommer också. Då högre krav på ytjämnhet föreligger tillsätts vax till slipmedlen. Vax kan även anbringas för hand under putsningen. Putsning med slipband för hand eller i speciella putsmaskiner förekommer även.

### 6.3.7 Polering

Med *polering* avses metoder huvudsakligen för att förbättra ytjämnheten och ytans glans. Polering är delvis en spånavskiljande metod, men till stor del även en plastisk bearbetning av ytskiktet. Polering kan utföras med roterande skivor av skinn, läder, linne eller annat material belagt med polermedel vanligen bundet med vax. Genom variation av vaxets sammansättning samt polermedlets art kan varierande slip- och polerverkan uppnås.

Polering kan även ske genom att ett hårt glatt föremål under rörelse trycks mot arbetsstycket. Denna metod kallas *tryckpolering*. Genom det hårda trycket kommer ytojämnheter att pressas ner och därigenom erhålls en slät yta. En oförsiktigt utförd tryckpolering medför lätt att det uppstår skadliga spänningar i ytskiktet, som kan äventyra detaljens livslängd och föranleda avskalning av ytskiktet. Rätt utförd medför emellertid tryck-

polering en höjning av ytskiktets hållfasthetsvärden och används därför ibland vid polering av högt belastade detaljer. Mjuka metaller, t ex guld och silver, poleras oftast genom tryckpolering, varvid poleringen utförs för hand.

## 6.3.8 Vibrationsbearbetning med ultraljud

### 6.3.8.1 Inledning

Ultraljud eller vibrationsteknik används inom bl a följande applikationer:

- Rengöring
- Plastsvetsning
- Metallsvetsning
- Kemisk extraktion
- Plastisk bearbetning av metaller
- Skärande bearbetning

### 6.3.8.2 Egenskaper

Låt oss studera en vibration och se vilka effekter den kan ge. En harmonisk svängning kan beskrivas med en sinusvängning:

$$x = A \sin(\omega t) \quad (6.2)$$

$x$  = en partikels förflyttning från sitt jämviktsläge [m]

$A$  = den maximala förflyttningen [m]

$\omega$  = vinkelhastigheten [ $s^{-1}$ ]

$t$  = tiden [s]

Partikelns hastighet kan bestämmas genom att derivera (6.2) med avseende på tiden:

$$v = \frac{dx}{dt} = A \omega \cos(\omega t) \quad [m/s] \quad (6.3)$$

Partikelns hastighet varierar i takt med lägesförändringen men fasförskjutet vinkeln  $\pi/2$ . Den har maximal hastighet  $= \omega A$ , då den passerar jämviktsläget.

Partikelns acceleration  $a$  erhålls genom att hastigheten (6.3) deriveras med avseende på tiden:

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} = -A \omega^2 \sin(\omega t) \quad [m/s^2] \quad (6.4)$$

Den maximala accelerationen är således  $= A \omega^2$ , och fås då partikeln är i något av sina ändlägen.

Materialet kommer att utsättas för en pulserande spänning vars storlek beror på materialets elasticitetsmodul  $E$  och dess densitet  $\rho$ . Den så kallade *akustiska spänningen* är proportionell mot materialets elasticitetsmodul och förhållandet mellan rörelsehastigheten och vågutbredningshastigheten.

Det är tydligt att man med en överlagrad svängning kan variera rådande relativhastigheter och materialpåverkningar inom vida gränser. Hastigheten, accelerationen och materialpåverkan påverkas av svängningens amplitud  $A$  och frekvens  $f$ , ( $f = \omega/2\pi$ ). Höga frekvenser kan vid låga amplituder