

$$\frac{y^2}{r_0^2} - \frac{x^2}{(r_0 \operatorname{ctg} \beta)^2} = 1.$$

A kapott felület meridiánja tehát hiperbola, a megmunkált felület pedig egyköpenyű forgási hiperboloid. Mint az egyenletből következik az r_0 a hiperbola nagytengelyének a felével, illetve a hiperboloid torokkörének sugarával egyenlő.

Abban az esetben, ha a szerszámél pályájának síkja is, és maga a pálya is szöggel hajlik a munkadarab forgástengelyéhez, a forgácsolt idom, az előbbi esethez hasonlóan szintén forgási hiperboloid lesz. Könnyen belátható, hogy a kapott felület meridiánja olyan hiperbola, melynek egyenletében a pálya mindkét irányu hajlásszöge szerepel:

$$y = \sqrt{(r_0 + x \operatorname{tg} \varphi)^2 + (x \operatorname{tg} \beta)^2},$$

ahol φ - a szerszámélpálya és a forgástengely között vízszintes síkban bezárt szög;

β - a szerszámélpálya és a forgástengely között függőleges síkban bezárt szög.

A megmunkált átmérő mérethibája valamely x keresztmetszetben:

$$\Delta D_x = D_x - D_0 = 2 \sqrt{(r_0 + x \operatorname{tg} \varphi)^2 + x^2 \operatorname{tg}^2 \beta} - 2r_0.$$

Kupos felületek megmunkálásakor is forgási hiperboloidot állítunk elő, ha a szerszámélpálya és a munkadarab forgástengelye a kuposságot biztosító egyik síkban, és a rá merőleges síkban is szöget zár be.

A szerszámél pályája és a forgástengely szöghelyzetének hibája legtöbbször az ágyvezeték hibájából adódik. Ez az eltérés alapzaskor, vagy kopás következtében jön létre.

A szerszámok pontatlanságából adódó hibák. Az egyéltű szerszámok (eszterga és gyalukések) hibája nem befolyásolja közvetlenül a munkadarab pontosságát, legfeljebb csak a rossz forgácsolási viszonyok hatnak a munkadarabra. A többi szerszám hibái viszont többé-kevésbé rámásolódnak a munkadarabra. Legáltalánosabb hibaforrások: a méretes szerszámok mérethibái; az alakos szerszámok alakhibái; a forgószerszámok ütése függetlenül a gép orsójának ütésétől; a széles élen dolgozó szerszámok élének a megmunkált felülethez viszonyított elhelyezési hibái.

A méretes szerszámok mérete közvetlenül átadódik a munkadarabra, így türelésüket mindig a megmunkálandó méret türelésétől függően kell megállapítani. Az egyélű szerszámok közül ide tartoznak például a beszűrő- és a menetvágó esztergakések.

A készülék pontatlansága okozta hibák. A készülékelemek geometriai hibái, valamint a készülék szerelési hibái befolyásolják a munkadarab vagy a szerszám befogásának és viszonylagos helyzetének pontosságát, így a megmunkált felületek pontosságát és viszonylagos helyzetét is. De nemcsak a munkadarab- és a szerszámbe fogó vagy szerszámvezető készülék gyártási hibáival, hanem kopásának mértékével (felfekvő felületek, szerszámvezető elemek stb.) is számolni kell. Mindezekért a készülékeket szigorubb türelésekkel készítik, mint a velük gyártott munkadarabokat. Az IT7...IT9 türelés minőségű munkadarabokhoz való készülékek gyártási pontosságát a munkadarab vonatkozó méretei türelésének $1/2 - 1/3$ részével veszik egyenlőnek (IT5 - IT6 türelésűnek). Az IT 10 vagy ennél durvább minőségű munkadarabok készülékének pontossága, a munkadarab türelésének $1/5 - 1/10$ része (IT6 - IT7 türelés minőségű). Az IT6, IT5 türelés minőségű munkadarabok készülékeinek gyártása már különleges megmunkálási eljárásokat igényel, és a készülék pontossága a munkadarab türelésének $1/2$ része.

Hibát okozhat a megmunkálásban nemcsak a készülékek gyártási pontatlansága, hanem sérülésük is (ülékek ütődése, készülékelemek torzulása stb.). Ezért a készülékhibák megelőzésére rendszeresíteni kell a készülékek ellenőrzését raktárból való kiadásuk előtt.

2.23 Az MKGS-rendszer statikus deformációja

A megmunkálás közben fellépő erők és nyomatékok a készülék - gép - munkadarab rendszerben alakváltozást hoznak létre. Ezek az alakváltozások egyrészt a rendszer egyes elemeinek rugalmas deformációjából, másrészt az egyes érintkező felületek egymáson való elmozdulásából erednek. Az alakváltozás mértékét számítással meghatározni még megközelítőleg is nagyon nehéz, ezért kísérleti uton állapítják meg, úgy, hogy a szerszám gép vizsgálatnak alávetett részét adott erővel vagy nyomatékkal megterhelik és mérik a deformációt. A vizsgálat kiterjedhet az egész MKGS-rendszerre, vagy annak csak egy részére. A deformáció mértéke a terhelésen kívül a rendszer merevségétől is függ. A statikus merevséget a merevségi tényezővel jellemezzük. A merevségi tényezőt az irodalomban j -vel jelölik. Mértékegysége $[N/mm]$, tehát azt az erőt fejezi ki, amelynek hatására a rendszer vizsgált pontja 1 mm elmozdulást végez. Mivel mind az erő, mind pedig az elmozdulás vektoriális mennyiség, azaz nemcsak nagyságuk, hanem irányuk is van, azért azt is rögzíteni kell, hogy a vizsgált rendszerben kijelölt pontra milyen irányú erő hat és melyik irányban mérjük az elmozdulást.

Egyes kutatók a j merevségi tényező helyett annak reciprok értékét használják, és elmozdulékonyságának, vagy utánengedési együtt-hatónak nevezik. Jele w , mértékegysége pedig $[mm/N]$.

Szerszámgépek vizsgálatánál megkülönböztetünk "pozitív" és "negatív" merevséget, attól függően, hogy a fellépő erőhatások és a bekövetkező elmozdulások milyen értelműek.

Negatív merevsége a rendszernek akkor van, ha az elmozdulást okozó erőnek az elmozdulás irányába eső összetevője és az elmozdulás ellentétes értelműek. Pozitív merevségről akkor beszélünk, ha az erő összetevője és az elmozdulás azonos értelműek.

Pozitív merevség esetén növekvő erőhatásra a fogásmélység csökken, negatív merevség esetén pedig nő.

Két csucs közé befogott tengely hosszesztergálása esetén a merevség pozitív, ugyanis a (F_v) fő forgácsolóerő és a (F_p) fogásvételirányu erő növekedése következtében növekszik a munkadarab kihajlása és csökken a (a) fogásmélység. Hasonló a helyzet egyik végén befogott munkadarab hosszesztergálása esetén is.

Ha a kés élét a munkadarab középvonala fölé emelik h magasságra, akkor a kés a (F_v) fő forgácsolóerő hatására lehajlik és a fogásmélység növekszik, a rendszer merevsége tehát negatív.

Gyalulásnál ugyanaz a rendszer lehet pozitív vagy negatív merevségű, attól függően, hogy a forgácsolóerő milyen irányu.

Homlokmarásnál az előtoloriányu erő növekedésével növekszik a maróorsó rugalmas deformációja és ennek következtében növekszik a fogásmélység, vagyis a merevség negatív. Ugyanez a helyzet áll elő fazékkorong homlokfelületével végzett sikköszörülés esetén is. Palástmarásnál szintén pozitív a merevség, mivel a növekvő erőhatásra növekszik a maróorsó kihajlása, s így csökken a fogásmélység.

A megmunkálási hiba számításánál a fellépő erő okozta elmozdulás értékének ismerete szükséges. Az elmozdulás az erő és a merevségi-, illetve az erő és az elmozdulékonysági tényező ismeretében határozható meg.

Az erő és a merevségi tényező alapján például a főorsórendszer elmozdulása:

$$y_{\text{orsó}} = \frac{F}{j_{\text{orsó}}}$$

Az erő és az elmozdulékonysági tényező ismeretében például a szánrendszer elmozdulása:

$$y_{\text{szán}} = F w_{\text{szán}}$$

A munkadarab merevsége. Alakváltozás szempontjából - a munkadarab méretei és az esztergálásnál fellépő erők figyelembevételével - megkülönböztetünk:

- teljesen merev és
- rugalmas munkadarabot.

Teljesen merevnek tekinthető a munkadarab, ha a forgácsoláskor fellépő alakítóerő a munkadarabon nem okoz mérhető rugalmas alakváltozást.

Rugalmas a munkadarab, ha az alakítóerő a munkadarabon mérhető rugalmas alakváltozást hoz létre.

Ha a befogószerkezetet és a vele kapcsolódó géprészeket teljesen merevnek tekintjük, akkor a munkadarab rugalmas alakváltozásából adódó megmunkálási hiba a munkadarab adataival kiszámítható. A számítás az alakítóerő ismeretében, a munkadarab alakja, méretei és a fel fogás módjának figyelembevételével a szilárdságtan vonatkozó összefüggései felhasználásával végezhető el.

Általában a befogórendszer szerkezeti kialakítását az határozza meg, hogy a forgácsoló főmozgás, az előtoló, illetve fogásvételi mozgás megvalósítója-e. Ez a rendszer azonban minden esetben több alkatrészből álló szerelvény. Ezért a forgácsolóerő vagy az alakítóerő hatására egyes pontjainak elmozdulását:

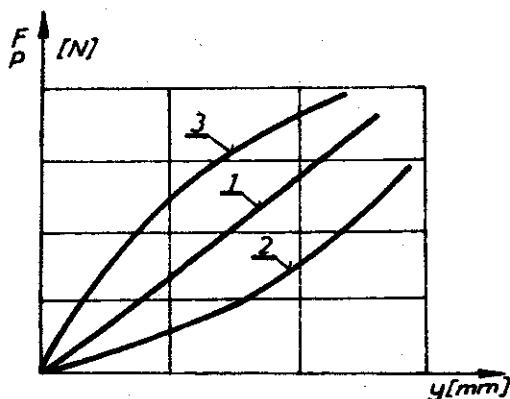
- az egyes alkatrészek rugalmas alakváltozása (lehajlás, szögelfordulás);
- a rendszerben levő illesztések átrendeződése;
- a felfekvő felületek alakváltozása;
- az összeerősített alkatrészek terhelés hatására történő relatív elmozdulása

határozza meg. A számos tényező jelenléte és kölcsönhatása miatt a befogórendszernek nem egyszerűen a merevségéről, hanem merevségi tulajdonságairól beszélünk.

A befogórendszerek vizsgált pontjának a terhelés hatására történő jellegzetes elmozdulásait a 2.9 ábrán látható terhelési görbék szemléltetik.

Előfordul, hogy a befogórendszer vizsgált pontjának elmozdulása arányos a hatóerővel (F ; P) és kapcsolatuk egy egyenes egyenletével fejezhető ki (1. görbe).

Sokszor azonban a befogórendszer változó merevségű és nincs lineáris kapcsolat vizsgált pontjának elmozdulása és a terhelőerő nagysága között (2. és 3. görbe).



2.9 ábra

Befogórendszerek terhelés hatására bekövetkező jellegzetes elmozdulásait mutatják az un. merevségi görbék

A 2. görbével jellemezhető esetben kezdetben a merevség kicsi, majd a rendszer elemeinek bizonyos elmozdulása után növekszik. Ez a jelenség azzal kapcsolatos, hogy a terhelőerő növekedésekor először a rendszerben levő illesztések átrendeződése megy végbe, ami viszonylag kis erő hatásakor nagy elmozdulással jár. A rendszer további terhelésekor kerül sor az egyes elemek rugalmas alakváltozására, az összeerősített alkatrészek relatív elmozdulására stb., amikor lényegesen nagyobb erő hatására viszonylag kis elmozdulás következik be.

Domboru merevségi görbe (3. görbe) olyan rendszereknél jön létre, amelyekben előfeszített alkatrészek vannak. Kis terhelőerő esetében az ilyen rendszer úgy viselkedik, mint egyetlen egy alkatrész és nagyobb merevséget mutat. A terhelőerő növekedésével az előfeszítést végző elemek megnyulása után, a rendszer merevsége csökken.

Homoru és domboru merevségi görbék esetében a rendszer közepes és valamely terhelési értéknél mért valóságos merevségéről beszélünk.

A rendszer közepes merevsége a terhelési diagram origójából a legnagyobb terhelést jelentő ponthoz húzott egyenes iránytangensével egyenlő.

A rendszer valóságos merevségét egy adott terhelési pillanatban a terhelési görbe megfelelő pontjához húzott érintő iránytangense adja.

Merevségi vizsgálatoknál a terheléskor lejátszódó elmozdulás bizonyos esetekben eltér a terhelés megszűnése utáni elmozdulástól és így merevségi hiszterézis jön létre.

Az egymás után következő terhelések hiszterézisének nagysága csökken. A terhelési és leterhelési görbék által bezárt terület az átrendeződő illesztések nagyságával és azzal a munkával arányos, melyet

a rendszer terhelésekor a surlódás leküzdése és az egyes alkatrészek esetleges képlékeny alakváltozása igényel.

Az előbbieken megvizsgáltuk, hogy a forgács leválasztásához szükséges erők az MKGS-rendszerben milyen alakváltozást okoznak. Láttuk, hogy az esetek többségében elsősorban a fogásvételirányú erő és forgácsolóerő hatására a beállított fogásmélységnél kisebb tényleges fogásmélység valósul meg. A keletkező átmérőhiba próbafogással végzett megmunkálásakor javítható selejtet okoz, mert egy új fogással a hibaként jelentkező ráhagyás eltávolítható.

Más a helyzet akkor, ha a fellépő erők okozta elmozdulások alak-, vagy helyzethibát hoznak létre. (Lásd: negatív merevség!). Ilyen esetben legtöbbször a megmunkálások már selejtet eredményeznek.

Az alakhibák és a helyzethibák nagyságának műveletenkénti változásáról a pontosítási tényező értéke ad felvilágosítást.

Rövid, teljesen merevnek tekinthető alkatrészek forgácsolásakor a pontosítási tényezőt a tengelyre merőleges metszetben levő alak- és helyzethibákra célszerű kiszámítani. Tokmányba fogott munkadarab forgácsolásra kerülő hengeres felületének mérőóra alatti elforgatásakor a mérőóra mutatója két határérték között mozdul el. A mérőórával ki-mutatott eltérés, a vizsgált keresztmetszetben, az adott felfogáskor előforduló hibákat tükrözi.

Az észlelt hiba magába foglalja: a tokmány ütését az adott méretű alkatrész befogásakor, a munkadarab vizsgált felülete és a befogott felület közötti helyzethibát és a munkadarab ellenőrzött részének előző műveletből származó alakhibáit. A tapasztalt hiba miatt forgácsoláskor a fogásmélység természetesen változó értékű lesz. A fogásmélység nagyságának ingadozása a fellépő erők értékének változását idézi elő, ami végeredményben az MKGS-rendszer egyenlőtlen alakváltozását eredményezi. Ennek következtében a fogásvétel előtti hiba az MKGS-rendszer elmozdulékonyságától függően megtalálható a fogásvétel után is. Természetesen a művelet elvégzésével a hiba értéke kisebb lesz. Az egyszerűség kedvéért vizsgáljuk meg azt az esetet, amikor tokmányba fogott rövid munkadarab befogott és megmunkálásra kerülő hengeres felületei között sugárirányú ütés van.

A forgácsolás megkezdése előtt a megmunkálásra kerülő felületet határoló kör a szerszám élével a munkadarab homlokfelületére karcolható (2.10/a. ábra). Ennek a beállított fogásmélységgel jelölt körnek a munkadarab befogott palástfelületével alkotott $\Delta_{(i-1)/h; s \ddot{u}}$ sugárirányú ütése egyenlő a beállított fogásmélység maximális és minimális értékének különbségével:

$$\Delta_{(i-1)/h; s \ddot{u}} = a_{bmax} - a_{bmin}$$

Forgácsoláskor - elsősorban a fogásvétel irányu alakítóerő és a forgácsolóerő hatására - a munkadarab és a szerszám élének viszonylagos helyzete megváltozik. A munkadarab és a szerszám élének elmozdulása következtében a megmunkált felület nem egyezik meg a forgácsolás előtti - a munkadarab homloklapfelületén kijelölt - felülettel.

Ezért a fogásvétel utáni $\Delta_i(h; s\ddot{u})$ sugárirányú ütés nagysága a maradó fogásmélység maximális és minimális értékek különbsége:

$$\Delta_i(h; s\ddot{u}) = a_{mmax} - a_{mmin}$$

Az a_m maradó fogásmélység maximális és minimális értékek különbsége felírható:

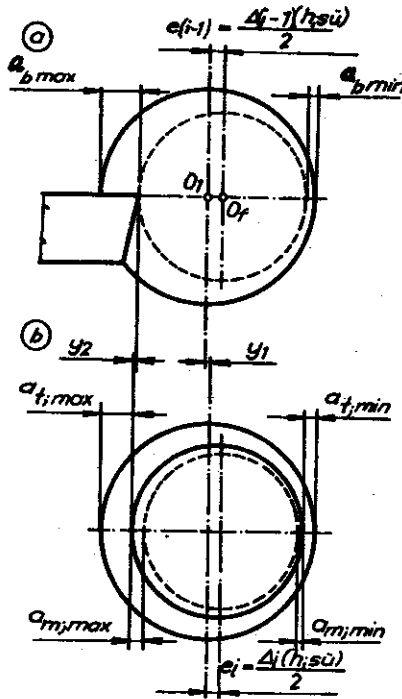
$$a_{mmax} - a_{mmin} = (a_{bmax} - a_{bmin}) - (a_{tmax} - a_{tmin})$$

A tényleges fogásmélység maximális és minimális értékek különbsége pedig:

$$a_{tmax} - a_{tmin} = \frac{a_{bmax} - a_{bmin}}{Ck(w_o - w_{sz}) + 1}$$

A felirt összefüggések szerint a megmunkálás után a maradó sugárirányú ütés:

$$\Delta_i(h; s\ddot{u}) = a_{mmax} - a_{mmin} = (a_{bmax} - a_{bmin}) \cdot \left[1 - \frac{1}{Ck(w_o + w_{sz}) + 1} \right]$$



2.10 ábra

A beállított fogásmélység és a forgácsolás közben kialakuló tényleges fogásmélység közötti összefüggés

Ha az x_{Fp} hatványkitevő tört ($x_{Fp} \neq 1$), akkor a megmunkált átmérő mérrethibájának kiszámítására felirt összefüggés nem alkalmazható. Mivel ez az összefüggés egyszerű, számításához igen alkalmas, ezért $x_{Fp} \neq 1$ esetében egy(k) tényező beiktatásával teszik érvényessé.

A (k) tényező értékeit - Korszakov adatai alapján - a $C(w_o + w_{sz})$, valamint az a_b beállított fogásmélység értékének megfelelően, $x_{Fp} = 0,9$ esetén táblázatok tartalmazzák. Mivel forgácsoláskor igen gyakran a fogásmélység hatványkitevőjének értéke $x_{Fp} = 0,9$, a pontossági számítások így a legtöbb esetben elvégezhetők.

A k helyettesítő tényező figyelembevételével, $x_{Fp} = 0,9$ esetén a megmunkált átmérő mérrethibája:

$$\Delta D = 2a_b \left[1 - \frac{1}{Ck(w_o + w_{sz}) + 1} \right].$$

A pontosítási tényező értéke teljesen merevnek tekinthető rövid munkadaraboknál, sugárirányú ütésre vonatkozóan:

$$P_{i(h;sü)} = \frac{\Delta_i(h;sü)}{\Delta_{(i-1)(h;sü)}} = 1 - \frac{1}{Ck(w_o + w_{sz}) + 1},$$

ahol $P_{i(h;sü)}$ a pontosítási tényező az i-edik műveletében, helyzethibára - sugárirányú ütésre - vonatkozóan;

$\Delta_i(h;sü)$ a helyzethiba - sugárirányú ütés - az adott művelet elvégzése után;

$\Delta_{(i-1)(h;sü)}$ a helyzethiba - sugárirányú ütés - a művelet elvégzése előtt (általános esetben ez megfelel az előző, művelet utáni helyzethibának);

C Adott anyag és szerszám esetén állandó szám

$$(C = C_{Fp} \cdot s^{y_{Fp}} K_F);$$

w_o a munkadarab befogó szerkezete és a kapcsolódó géprészek elmozdulékonysága, [mm/N].

w_{sz} a szerszám befogószerkezete és a kapcsolódó géprészek elmozdulékonysága [mm/N]

A pontosítási tényező értékét végeredményben tehát a forgácsoláskor fellépő erők nagysága és az MKGS-rendszer elemeinek elmozdulékonysága határozza meg.

A pontosítási tényező értéke tehát már a tervezés során a szerszámgép, a szerszám és a technológiai adatok ismeretében meghatározható.

A pontosítási tényező ismeretében a művelet elvégzése előtt, a munkadarab adott alak- és helyzethibáinak és a gép jellemzőinek alapján meghatározható a művelet után várható hiba.

Sugárirányu ütés esetében:

$$\Delta_{i(h;sü)} = P_{i(h;sü)} \cdot \Delta_{(i-1)(h;sü)} = \Delta_{(i-1)(h;sü)} \left[1 - \frac{1}{Ck(w_o + w_{sz}) + 1} \right]$$

Ha forgácsoláskor a kész méretet több fogással valósítjuk meg, a teljes pontosítási tényező értékét az egyes fogásokra vonatkozó pontosítási tényezők szorzata adja.

Sugárirányu ütésnél:

$$P_{N(h;sü)} = P_{1(h;sü)} P_{2(h;sü)} P_{3(h;sü)} \dots P_{n(h;sü)}$$

ahol $P_{N(h;sü)}$ az egymás után következő műveletek teljes pontosítási tényezője helyzethibára - sugárirányu ütésre - vonatkozóan;

$P_{1(h;sü)}$ az első művelet pontosítási tényezője helyzethibára - sugárirányu ütésre - vonatkozóan;

$P_{n(h;sü)}$ az n-edik művelet pontosítási tényezője helyzethibára - sugárirányu ütésre - vonatkozóan.

Az egyes műveletekre vonatkozó pontosítási tényezők értéke kisebb egynél. Az egymást követő műveletek során a pontosság fokozódik.

A vizsgált hiba azonos technológiai körülményeknél (gép, felfogás, szerszám, technológiai adatok azonossága esetén) csupán a fogások számának növelésével is csökkenthető.

Ha az egymás után következő fogásoknál finomabb megmunkálást alkalmazunk, a vizsgált hiba nagyobb mértékben csökken.

Figyelembe véve, hogy a pontosítási tényező egyrészt az MKGS-rendszer elmozdulékonyaságától, (mérveiségétől) és a forgácsolóerők nagyságától, másrészt a fogások számától függ, az alábbiak szerint fogalmazható meg a forgácsoló megmunkálásokra vonatkozó egyik alapvető törvény, a kivánt pontosság biztosításának törvénye; mechanikai megmunkálásoknál a keletkező hiba nagysága kivánt értéken tartható a technológiai rendszer elmozdulékonyasága és a forgácsolásnál fellépő erők csökkentésével, illetve a fogások számának növelésével.

Általános esetben a tokmányba fogott rövid munkadarab megforgatáskor tapasztalt ütést a bázismegválasztási- és felfogási hiba, az alakhiba (bütykösség, ovalitás, vagy szögletesség) és a helyzethiba idézi elő.

Előzetes technológiai számításoknál, az adott művelet elvégzése után maradó hiba ismeretlen, és nem is mérhető a felfogott alkatrész sugárirányú ütése. Ebben az esetben közelítő számításal célszerű meghatározni azt a várható alakhibát, amely a különböző hibák (alakhiba, helyzethiba, felfogási hiba stb.) összegződéséeként a tokmányba fogott munkadarab elforgatásakor jelentkeznek. Nevezzük ezt az eredő hibát felfogási alakhibának.

A felfogási alakhiba közelítő számításal határozható meg.

A számításához ismerni kell a szerszámgép befogószerkezetének (tokmány) ütését, a befogásnál előforduló felfogási hibát, valamint az előző művelettel létrehozott alakhibát és helyzethibát. Mivel ezek az eltérések a valószínűség törvényei szerint összegződnek, nagyságukat négyzeteik összegének gyökével célszerű figyelembe venni.

A felfogási alakhiba ennek megfelelően:

$$\delta_{fa} = \eta \cdot \sqrt{\delta_t^2 + \delta_f^2 + \delta_a^2 + \delta_h^2},$$

ahol δ_{fa} - a felfogási alakhiba;

η - a hibák eloszlási görbéinek alaki tényezője (azonosnak véve);

δ_f - a felfogási hiba;

δ_t - a szerszámgép befogószerkezetének (tokmány) sugárirányú ütése;

δ_a - az előző művelet utáni alakhiba;

δ_h - az előző művelet utáni helyzethiba.

Az adott művelet elvégzése utáni hiba technológiai számításoknál ennek megfelelően az előbbi összefüggés alapján határozható meg:

$$\Delta_{i(m;a;h)} = \delta_{fa} \cdot \left[1 - \frac{1}{Ck(w_o + w_{sz}) + 1} \right],$$

illetve:

$$\Delta_{i(m;a;h)} = \eta \cdot \sqrt{\delta_t^2 + \delta_f^2 + \delta_a^2 + \delta_h^2} \left[1 - \frac{1}{Ck(w_o + w_{sz}) + 1} \right].$$

2.24 Az MKGS-rendszer hőmérséklet-változásából eredő hibák

A munkadarab pontosságát befolyásolják a megmunkáláskor fellépő hő okozta alakváltozások is. A forgácsoló szerszámgépek működésekor jelentékeny hő keletkezik. Egyrészt hővé alakul a forgácsoláskor lejátszódó alakváltozáshoz és surlódáshoz felhasznált energia nagy része, másrészt hő származik a gép mozgó alkatrészeinek surlódásából, az elektromotorok, a hidraulikus rendszer stb. működéséből. A keletkezett hő hatására a szerszámgép alkatrészei és a munkadarab alakítását közvetlenül megvalósító MKGS-rendszer elemei melegednek és deformálódnak. A legtöbbször bonyolult, sok alkatrészből, szerelvényből álló MKGS-rendszer hőállapota a forgácsolás teljesítményétől - elsősorban sebességétől -, és a környezet (levegő, padlózat stb.) hőmérsékletétől függ.

A rendszer vizsgálatánál megkülönböztetik: az állandósult, a változó és a pillanatnyi hőállapotot.

Állandósult hőállapot esetén a rendszerben hőegyensúly van, a működésből eredő hőmennyiség azonos a rendszerből eltávozó hőmennyiséggel. Ebben az esetben a MKGS-rendszer elemeinek hőmérséklete állandónak tekinthető. Szigorúan véve ideális, állandósult hőállapot, forgácsoló szerszámgépeken soha nem jön létre. Gyakorlatilag ilyen állapotot közelítünk meg kis méretű alkatrészek azonos ütemben történő megmunkálásakor, ha azt állandósult hőmérsékletű szerszámgépen végezzük.

Változó hőállapotú a rendszer a szerszámgép üzemelésének kezdeti szakaszában, a munka befejezése után és a hosszabb ideig tartó üzemszünetek idején.

A forgácsolás során a gép alkatrészei - de különösen az MKGS-rendszer elemei - gyorsan melegednek, majd az alakítás megszüntetése és a gép kikapcsolása után hűlnek. Az egyes alkatrészek, elemek melegedési és hűlési sebessége függ a fellépő hőhatástól és tömegüktől. Minél nagyobb a hőhatás és minél kisebb a melegített elem tömege, annál gyorsabb a felmelegedés. Tapasztalatok szerint a forgácsolási hő hatásának kitett viszonylag kis tömegű szerszám 10...20 perc alatt, míg a nagyobb tömegű géprészek (orsó-szekrény báb, gépágy stb.) melyeket kisebb intenzitású hőhatás ér, 3...4 óra alatt érik el az állandósult hőállapotot.

A pillanatnyi hőállapot megállapítása közvetlen hőmérsékletmérések nélkül igen nehéz, mivel a keletkezett hő és a veszteségek meghatározása bonyolult. A hő okozta alakváltozások pontosságra gyakorolt hatásának elemzésénél, az MKGS-rendszer elemeinek alakváltozását külön vizsgálják a gép üzemelésének két alapvető periódusában: a felmelegedés folyamán és az állandósult hőállapot idején.

A munkadarab felmelegedéséből adódó megmunkálási hibát forgácsoláskor a forgácsolóban keletkező hő idézi elő. A keletkezett hő megoszlása a munkadarab, a szerszám, a forgács és a környezet között főleg a megmunkálás és hűtés módjától, a munkadarab és szerszám anyagától, valamint a technológiai adatoktól függ.

Külső felületek szabályos élgeometriájú szerszámmal végzett megmunkálásakor a munkadarabba kevesebb hő jut, mint belső felületek megmunkálásakor. Ez elsősorban a forgácseltávolítás különbözőségeiből származik.

A munkadarab felmelegedéséből és hűléséből adódó megmunkálási hiba a hőokozta alakváltozás alapján határozható meg. Ennek vizsgálatához ismerni kell a munkadarab hőmérsékletének változását a megmunkálásakor. A hőmérséklet meghatározásánál általában feltételezik, hogy a munkadarab állandó hőhatásnak van kitéve. Ez a feltételezés elég jól megközelíti a valóságos helyzetet a több fogással, vagy több szerszámmal, beszúró eljárással stb. történő megmunkálásakor.

A munkadarab melegedésből származó közepes hőfoka:

$$\Theta_{md,k} = \frac{Q}{c \cdot \rho \cdot g \cdot V}$$

ahol Q a munkadarabba jutó hőmennyiség,
 c az anyag fajhője;
 ρ az anyag sűrűsége
 V a munkadarab térfogata
 g a gravitációs gyorsulás

A munkadarab hő okozta alakváltozása - hőmérsékletváltozásának ismeretében - vizsgált L mérete alapján kiszámítható:

$$\Delta L = \alpha \cdot L (\Theta_{md,k} - \Theta_0) = \alpha \cdot L \cdot \Delta \Theta,$$

ahol α - a munkadarab anyagának hőtágulási együtthatója;
 L - a munkadarab vizsgált mérete;
 $\Theta_{md,k}$ - a munkadarab melegedésből adódó közepes hőmérséklete;
 Θ_0 - a munkadarab megmunkálás előtti hőmérséklete.

A pontosság szempontjából a munkadarab azon méretének a változását kell szem előtt tartani, amely a forgácsoló felülettel kapcsolatban van.

A hődilatáció a munkadarabon alakhibát is okoz. A kísérletek azt mutatják, hogy egyéltű szabályos élgeometriájú szerszámmal végzett forgácsoláskor kialakuló pontszerű hőforrás - a munkadarab viszonylag nagy kerületi sebessége és a szerszám kis előtolása miatt - közleltőleg

gyűrűszerű hőforrás-nak fogható fel. Forgácsoláskor a munkadarab felületi rétegében a gyűrűszerű hőforrás előtt az előtolás sebességével egy jelentékeny hőhullám halad. Amikor a hőforrás a munkadarab homlokfelületéhez ér, a munkadarab felületi rétegének a hőmérséklete lényegesen megnő. Ez a jelenség azzal kapcsolatos, hogy a hőforrás előtt haladó hőhullám a homlokfelülethez érve - a levegő rossz hővezető képessége miatt -, elveszti sebességét és a henger végét melegíti. Lehűlés után a munkadarab tengelymetszetében jellegzetes alakhiba jön létre; a megmunkált hossz mentén a szerszámot végéig egyre kisebb és kisebb lesz az elkészített átmérő.

A munkadarab hő okozta alakváltozásából származó megmunkálási hiba elsősorban vékonyfalú alkatrészeknél nagy ráhagyások eltávolításakor számottevő. Hosszu tengelyek csucsközötti megmunkálásakor az axiális dilatáció okozhat figyelemreméltó megmunkálási hibát.

A szerszám felmelegedéséből adódó alakváltozások. A szerszámba jutó hő mennyisége függ a forgácsolás módjától, ezért a szerszám felmelegedése és az ebből származó hiba a különböző megmunkálásoknál eltérő.

Annak ellenére, hogy egyéltű szerszámokkal végzett forgácsoláskor a szerszámra viszonylag kevés hő jut, a forgácsolóél jelentékeny hőfokot ér el (800...1100 °K). A forgácsolóéltől a hő a készárha fokozatosan terjed, így az egyes részek hőfoka természetesen a forgácsolás idejétől függ.

A szerszámra jutó hő mennyiségét a munkadarab anyagának szilárdsága, a forgácsolóél anyagának hővezetőképessége, a megmunkálás technológiai adatai, a szerszám geometriai paraméterei stb. határozzák meg.

A szerszám felmelegedése és megnyulása növekszik a forgácsolt anyag szilárdsága, a fogásmélység, az előtolás, a forgácsolási sebesség növelésével.

A forgácsolás kezdetén a szerszám hőfoka gyorsan nő, majd néhány perc múlva eléri az állandósult hőmérsékletet.

A forgácsolás szünetében a szerszám lehül és megrövidül. A rövidülés a forgácsolások közötti idővel arányosan megy végbe. Ha a forgácsolás gépi főideje és a szünetidő változatlan nagyságu és ismétlődő, kialakul a szerszám ritmikus forgácsolására jellemző, állandósuló hosszváltozása.

A szerszám gép felmelegedéséből származó alakváltozások

A szerszám gép alkatrészeinek (ágy, állvány, hajtóműházak, főorsó stb.) felmelegedését a mechanizmusokban, a hidraulikus és az elektromos berendezéseiben lejátszódó surlódások okozta hő eredményezi. Ezenkívül fontos hőközlő a forgácsolási hő egy részét hordozó hűtő-kenő

folyadék is. A szerszámgép alkatrészei - a forgácsoló szerszámmal el-
lentétben - lassan melegsznek fel és állandósult hőmérsékletük viszony-
lag alacsony. A gépágy és a szerelvények különböző pontjainak hőfoka
az üzemelés előtt és az állandósult hőállapot bekövetkezése után is el-
térő.

Üzemelés előtt az egyes géprészek eltérő hőfoka az alap, a padló-
zat, a műhely-levegő stb. hőmérsékletének különbözőségéből adódik.
Az évszakok és a napszakok változása is elősegítheti a gépalkatrészek
hőmérsékletének egyenletlenségét. A kísérletek arról tanuskodnak, hogy
precíziós gépek megmunkáló pontosságát, még a gép különböző részeit
egyenlőtlenül melegítő napsugár okozta felmelegedés is befolyásolja.

Az üzemelés során a melegedés egyenletlenségét a gép szerkezeti
felépítése, hőfejlesztő és hőtároló egységeinek (motorok, szivattyúk, tar-
tályok stb.) elhelyezése befolyásolja.

A géprészek egyenlőtlen hőfoka alakváltozást eredményez. Ennek
előjele és mértéke attól függ, hogy a vizsgált pillanatban milyen eltérés
mutatkozik a végátvételi hőmérséklet, és az egyes részek hőmérséklete
között.

A különféle kezdeti hőmérsékletű géprészek hőfokváltozása, és
így alakváltozása is eltérő. Előfordul, hogy az alakváltozás mértéke
nincs összhangban az adott alkatrész hőfokváltozásával.

Esztergák működésével járó felmelegedés okozta alakváltozásokat
vizszintes és függőleges síkban vizsgálják. A tengely függőleges irány-
ban közel négyszer olyan elmozdulást tesz, mint vizszintes síkban. Meg-
figyelhető az is, hogy a felmelegedés sebessége a lehülés sebességének
többszöröse. A munkadarab pontossága szempontjából az a fontos, hogy
a forgácsolóélhez viszonyítva milyen irányban mozdul el melegedés kö-
vetkeztében. Esztergán tehát főorsó tengelyének vizszintes irányu elmoz-
dulását kell elsősorban vizsgálni. Természetesen a gép felmelegedése és
alakváltozása függ az üzemelés körülményeitől. A fordulatszám növekedé-
sével - forgácsolás nélküli járatáskor is - növekszik az eszterga mellső
csucsának vizszintes irányu elmozdulása.

A hő okozta alakváltozásból eredő hiba meghatározásánál elemez-
ni kell az MKGS-rendszer elemei kölcsönös alakváltozásának nagyságát
és irányát. Csakis a munkadarab, a szerszám, a főorsó stb. elmozdu-
lásainak komplex vizsgálata adhat megbízható felvilágosítást a hő okozta
hiba mértékére és jellegére.

2.25 A megmunkálások után maradó feszültségekből eredő hibák

Ha a munkadarabban megmunkáláskor, vagy a gépelemben működés közben a maradó feszültségek egyensúlya valamilyen belső- vagy külső ok következtében felbomlik, akkor alakváltozás jön létre.

Ez azért következik be, mert a gépgyártásban használt anyagok nem tekinthetők ideálisan rugalmasnak. A szerkezeti anyagokra jellemző a kristálytulajdonságok anizotropiája, irányitottsága, rácshibák jelenléte, a szerkezet inhomogenitása, valamint az, hogy az egyes szerkezetelemek rugalmassági modulusa különböző.

Ezek a tökéletlenségek valamilyen terhelésből adódó feszültség, rezgés, hőterhelés stb. hatására, a maradó feszültségekkel terhelt munkadarab bizonyos térfogatának alakváltozását idézik elő, ami elhuzódáshoz, vetemedéshez vezet.

Külső hengeres felületű gépalkatrészek (tengelyek) egyensúlyi állapota külső ok hatására akkor bomlik fel, ha a szimmetrikus eloszlású maradó feszültségekkel terhelt munkadarabról forgácsoláskor egyenlőtlen vastagságú réteget választunk le. Ha a forgács leválasztása excentrikusan történik, a munkadarab elgörbül. Ez a jelenség hidegen huzott anyagból megmunkált hosszú tengelyek esetén okoz jelentős vetemedést.

Ha hengeres munkadarabok szimmetrikus maradó feszültségi állapotát horony bontja meg, szintén alakhiba keletkezik. Például hidegen huzott hengeres munkadarabba munkált ékhorony tengelymetszeti alakhibát (görbeség) okoz, de még tengelyre merőleges metszetben is bütykösséghez vezet a maradó feszültségek egyensúlyának megbontása.

2.26 A dinamikai tényezők hatása a pontosságra

Vizsgálódásainkat eddig az MKGS-rendszer statikus állapotára vonatkozóan, adott - állandó értékű - erő esetében végeztük. A forgácsolás valójában az MKGS-rendszer dinamikus állapotában történik.

A forgácsoló- és az alakítóerő nagysága, még állandó keresztmetszetűnek tekinthető forgács folyamatos leválasztásakor is - a ráhagyás egyenetlensége, az anyag inhomogenitása, az élrátét-képződés stb. következtében - változik. Ezzel együtt a MKGS-rendszerben levő ki-egyensúlyozatlanságok a forgácsolásnál rezgéseket idéznek elő. A változó nagyságú terhelőerő a munkadarabot, a szerszámot, a készüléket stb. nagyobb mértékben deformálja, mint a statikus terhelés.

Az MKGS-rendszer forgácsolás közbeni állapotának jellemzésére a dinamikai tényező bevezetését javasolják.

A dinamikai tényező (μ_d) az MKGS-rendszer dinamikus és statikus elmozdulékonysága közötti viszonyt fejezi ki:

$$\mu_d = \frac{w_d}{w},$$

ahol μ_d - a dinamikai tényező;

w_d - a dinamikus elmozdulékonyság, [mm/N]

w - a statikus elmozdulékonyság, [mm/N]

A dinamikai tényező értéke nagyobb egynél, mivel $w_d > w$.

A technológiai körülmények változtatása, természetesen a dinamikai tényező változását idézi elő.

A technológiai adatok közül az előtolás és a forgácsolási sebesség változtatása 20-40 százalékkal változtathatja meg a dinamikai tényezőt. A dinamikai tényező változásának jellege jól megegyezik a rezgésintenzitás változásának jellegével. A homlokszög és az elhelyezési szög növelése csökkenti a dinamikai tényező értékét, és hasonló jellegű hatást gyakorol a rezgésintenzitás alakulására is. Intenzív rezgések megjelenésekor a dinamikai tényező értéke lényegesen növekszik. Kisebb merevség esetén a dinamikai tényező értéke nagyobb.

2.27 A beállítás hibája

A munkadarabokat a legpontosabb beállítás mellett sem lehetne a rajzon feltüntetett néveleges méretre megmunkálni még abban az esetben sem, ha a megmunkálás egyéb hibaokozóit figyelmen kívül hagyjuk, mivel megának a beállításnak is van hibája.

Vizsgáljuk meg a beállítás módszereit egy nagyon egyszerű esetben, pl. amikor csuesztergán befogott munkadarab hengeres felületének hosszesztergálását végezzük és az átmérőt akarjuk beállítani. Ez a beállítás történhet:

- a keresztzánt mozgó menetes orsóra szerelt fokbeosztásos tárcsa segítségével;
- méróórával;
- merev ütközővel;
- próbafogással.

Ha a beállítást az első módszerrel végezzük, a hibák a következő okokra vezethetők vissza:

- menetes orsó menetemelkedésének hibája;
- a fokbeosztásos tárcsa pontatlansága;
- a beállítás szubjektív hibája.

Kísérletek azt mutatták, hogy közepes méretű, jó állapottan levő csucsesztergán a kést ismételten ezzel a módszerrel beállítva az átmérő szórása kb. IT 7 minőségű tűrésnek felel meg.

A beállítás pontossága csak csekély mértékben javult, ha azt mérőórával végezték.

Merev ütközőket alkalmazva a szórás értéke kb. $\pm 0,05$ mm, ami pl. 150 mm-es átmérő esetén az IT 9 minőség tűrésének felel meg. Merev ütközőre csak nagyoló vagy félsimító műveleteknél lehet dolgozni.

A próbaforgással történő méretbeállítás az egyedi és kissorozatgyártásban szokásos. Ennek során egy, a készméretet megközelítő méretre állítjuk be a szerszámot, majd megmérjük az így előállított méretet és a mérés eredményétől függően helyesbítjük a beállítást, azaz az esztergákés helyzetét.

Az elmondottak értelemszerűen nemcsak a csucsesztergákra vonatkoznak, hanem mindenfajta szerszámgépre.

2.28 A szerszám kopásából eredő hiba

A forgácsolószerszámok élei a forgács leválasztása közben nagy igénybevételnek vannak kitéve, és ennek következtében kopnak, a kopás viszont a megmunkált munkadarab méretének változását vonja maga után, tehát ez is megmunkálási hibaforrás.

A kopás típusa (hátkopás, homlokkopás, kráteres kopás, élkopás, csucskopás) főleg a megmunkált anyag tulajdonságaitól, a szerszám geometriájától és a technológiai adatoktól függ.

A munkadarab méretváltozása szempontjából a hátkopás, élkopás és a csucskopás játszik fontos szerepet, mivel ezek a kopástípusok a szerszám méretét a megmunkálendő felületre merőleges irányban változtatják.

A szerszámkopás okozta hiba számbavétele elsősorban simító megmunkáláskor fontos. Mérethibát okoz a szerszám kopása azonos munkadarabok méretre állított szerszámokkal végzett megmunkálásakor is, sorozat- vagy tömeggyártás esetén.

Alakhiba a szerszám kopásából nagyméretű munkadarabok megmunkálásakor keletkezik. Például hosszú csap esztergálásánál a szerszámkopással járó egyenletes rövidülés kuposságot eredményez.

A forgácsoló szerszám kopása a klasszikus kopásgörbe szerint megy végbe, de különféle szerszámanyagoknál igen eltérően. A szerszámkopás okozta méretváltozást közvetlenül mérik, vagy közvetve a hátkopás nagyságából határozzák meg.

Technológiai tervezéskor, a méretváltozás szempontjából a szerszám kopásgörbéjének lineáris - egyenletes kopás - szakasza fontos. A szerszám méretváltozását közelítőleg általában az alábbi lineáris összefüggések valamelyikével fejezik ki:

$$a = c_1 t;$$

$$a = c_2 L_f;$$

$$a = c_3 A_4;$$

ahol - c_1, c_2, c_3 a munkadarab és a szerszám anyagától, a megmunkálás körülményeitől függő állandók;
 - t a forgácsolás ideje [perc];
 - L_f a szerszám forgácsolási útja, [m] vagy [km];
 - A_4 a megmunkált felület nagysága [m²].

A szerszámkopás okozta méretváltozást legtöbbször az un. méretpontos élettartammal lehet kézbe tartani.

2.3 A pontosság növelésének általános szempontjai

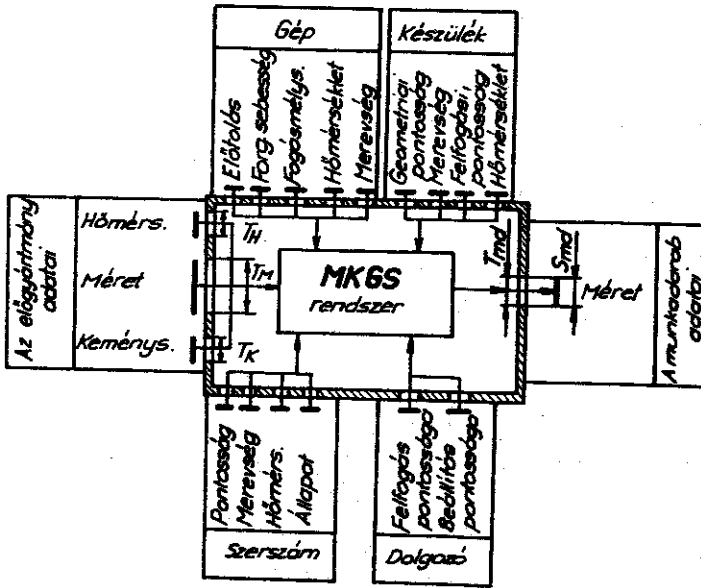
A forgácsolásnak egyik fő feladata az, hogy az előgyártmány meglévő hibáit (méret, alak, helyzethiba) a készülő alkatrész előírt tűréseinek értékéig csökkentse.

Kevésbé pontos felületeknél a hiba kivánt csökkentése sokszor egy fogással is elvégezhető. Ha a megmunkálandó felület méretének, az előgyártmány azonos méretéhez képest lényegesen szűkebb tűrései vannak, a forgácsolás során nagymértékű pontosításra van szükség.

Jelenleg a gépipari gyakorlatban az alkatrész kivánt pontosságát a megmunkálási módok és a fogásszám helyes megválasztásával érik el. Ebből kiindulva határozzák meg a ráhagyást, a műveleti méreteket és azok tűréseit.

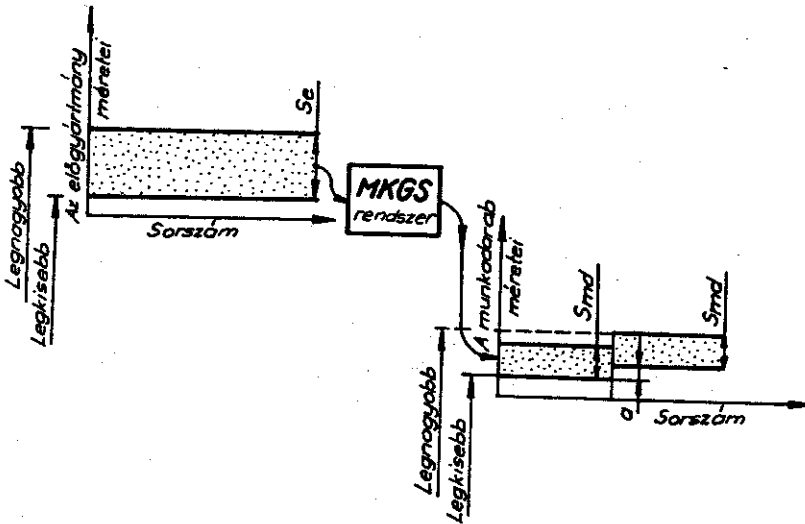
Forgácsoláskor a munkadarab a kiválasztott MKGS-rendszer méretláncába kapcsolódik zárótagként.

A megmunkálás során a munkadarabra az MKGS-rendszerben számos tényező hat, amelyek a kész alkatrész kialakuló hibáit befolyásolják. E tényezőket BALAKSIN professzor a 2.11. ábrán feltüntetett módon rendszerezte. Az MKGS-rendszerbe jutó fő bemenő adatok az előgyárt-



2.11 ábra

A megmunkálás során a munkadarabra, az MKGS-rendszerben ható tényezők összefoglaló rendszerezése

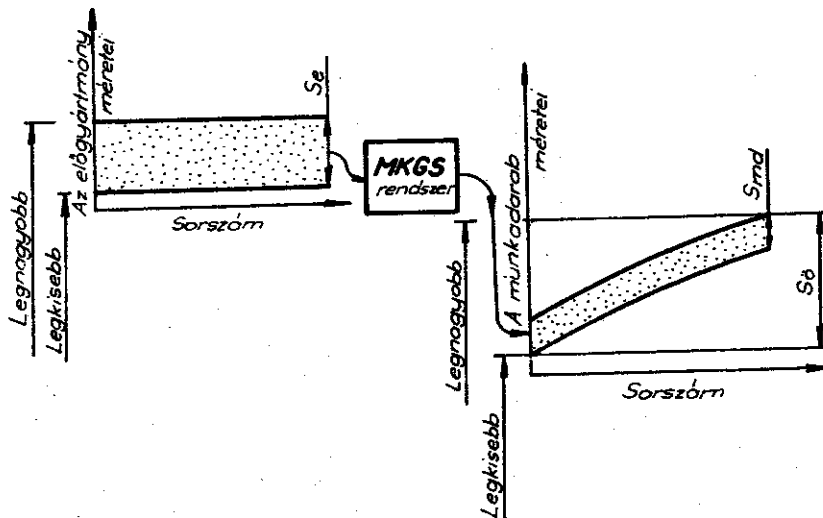


2.12 ábra

Az MKGS-rendszer pontosításának változása sorozatgyártás esetén, ha valamilyen állandó rendszeresen ható tényező jelentkezik

mány mérete, keménysége, hőmérséklete stb. kimenő adatok pedig a munkadarab vagy alkatrész kialakított méretei és betartott tűrései. A kimenő adatok nagysága - az alkatrész hibája - az MKGS-rendszerben ható összes tényező kölcsönhatásától függ.

Az MKGS-rendszer pontosítását szemlélteti sorozatgyártás esetén a 2.12 ábra. Ha valamilyen állandó, rendszeresen ható tényező (pl. új szerszám beállítása), hatása jelentkezik a szórásmező új helyzetbe kerül, és ennek megfelelően az egész sorozatra vonatkozóan a pontosítás kisebb értékű lesz.



2.13 ábra

Az MKGS-rendszer pontosításának változása sorozatgyártás esetén, ha valamilyen bizonyos törvényszerűség szerint rendszeresen ható tényező jelentkezik

Ha bizonyos törvényszerűség szerint rendszeresen ható tényező (pl. szerszámkopás) lép fel, az MKGS-rendszer pontosítása, a sorozat összes alkatrészére vonatkozóan, a rendszeres hiba törvényszerűségének megfelelően csökken (2.13 ábra)

Fentiekből látható, hogy általános esetben az egy sorozatban forgácsolt munkadarabok méreteinek szórása az állandó, a valamilyen törvényszerűség szerint rendszeresen ható és a véletlenül ható tényezők összegeként jelentkezik:

$$s = s_1 + s_2 + s_3$$

- ahol s - a sorozatban megmunkált alkatrészek vizsgált méretének szóródása;
- s_1 - az állandó rendszeresen ható tényezők okozta szóródás;
- s_2 - adott törvényszerűség szerint rendszeresen ható tényezők okozta szóródás;
- s_3 - véletlenül ható tényezők okozta szóródás.

A megmunkálandó hengeres felület átmérőjének szórása, (ten-gelymetszeti és tengelyre merőleges metszetben keletkező alakhibája) forgácsoláskor - a geometriai hibákon kívül - a szerszámél és a munkadarab forgástengelye közötti távolság változásától függ. Lényegében, ha ezt a megmunkáláskor állandó értéken lehetne tartani, ideálisan pontos alkatrészeket kapnánk. A szerszámél és a munkadarab forgástengelye közötti távolság azonban - miként az előző fejezetben ezt bemutattuk - számos tényező, közöttük elsősorban az MKGS-rendszerben fellépő erők hatására változik.

Az MKGS-rendszer állapota szabályozható:

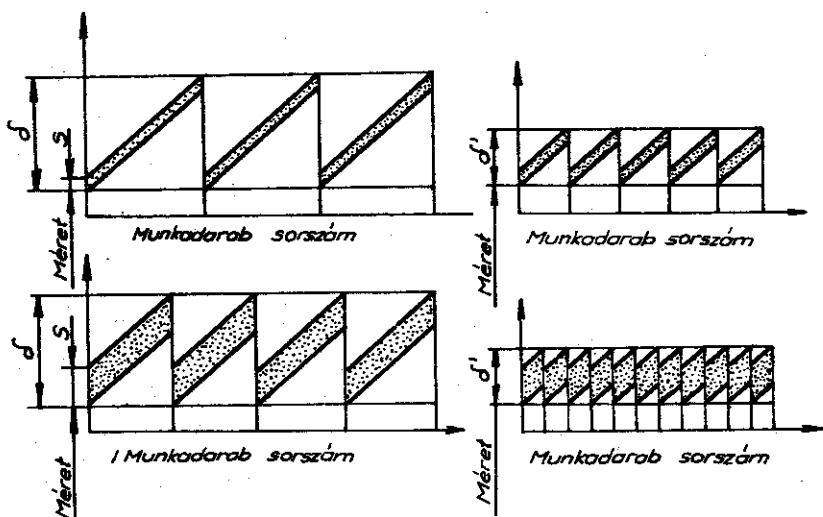
- statikus beállítással;
- dinamikus beállítással.

Statikus beállításkor az MKGS-rendszer méretláncát a megmunkálandó méretet jelentő zárótag változásának megfelelően korrigálják.

A különböző tényezők okozta méretszóródás csökkentése utánállítással történik. Az utánállítást legtöbbször a forgácsoló szerszámnak a hiba növekedésével ellentétes irányba való pótlólagos elmozdítása jelenti. A hagyományos gépeknél az utánállítást kézzel végzik. Az utánállítást szükségességét periódikus- vagy folyamatos méréssel állapítják meg. Kézi utánállítás esetében tehát az MKGS-rendszer méretláncában fellépett változást a dolgozó méréssel érzékeli, és a tapasztalt értékeknek megfelelő beavatkozást (szerszám elállítást) el is végzi.

Az utóbbi években az MKGS-rendszer méretláncának utánállításhoz egyre elterjedtebben "aktív" mérőberendezéseket alkalmaznak. Ezek lényege, hogy az alkatrészek méreteit folyamatosan összehasonlítják a megadott méret és tűrés értékével. Ha a forgácsolással kapott méret közeledik a tűrésmező alsó vagy felső határához, a berendezés parancsot ad az MKGS-rendszer megfelelő mechanizmusának a szerszám vagy a munkadarab helyzetének szükséges megváltoztatására. Ilyen módon elsősorban, adott törvényszerűség szerint rendszeresen ható tényezők okozta, pl. szerszámkopásból eredő szóródás a kívánt értéken tartható.

Aktiv mérés biztonsága és pontossága főleg a véletlenül ható tényezők okozta szóródás mezejének nagyságával hozható kapcsolatba. A véletlenül ható tényezők okozta szóródás növekedésével emelkedik a beavatkozás száma, ami a szabályozás bizonytalanságát növeli (2.14 ábra).



2.14 ábra

Az MKGS-rendszer pontosításának változása sorozatgyártás esetén, ha a véletlenül ható tényezők okozta szóródásnövekedést korrekciós beavatkozásokkal hozzuk helyre

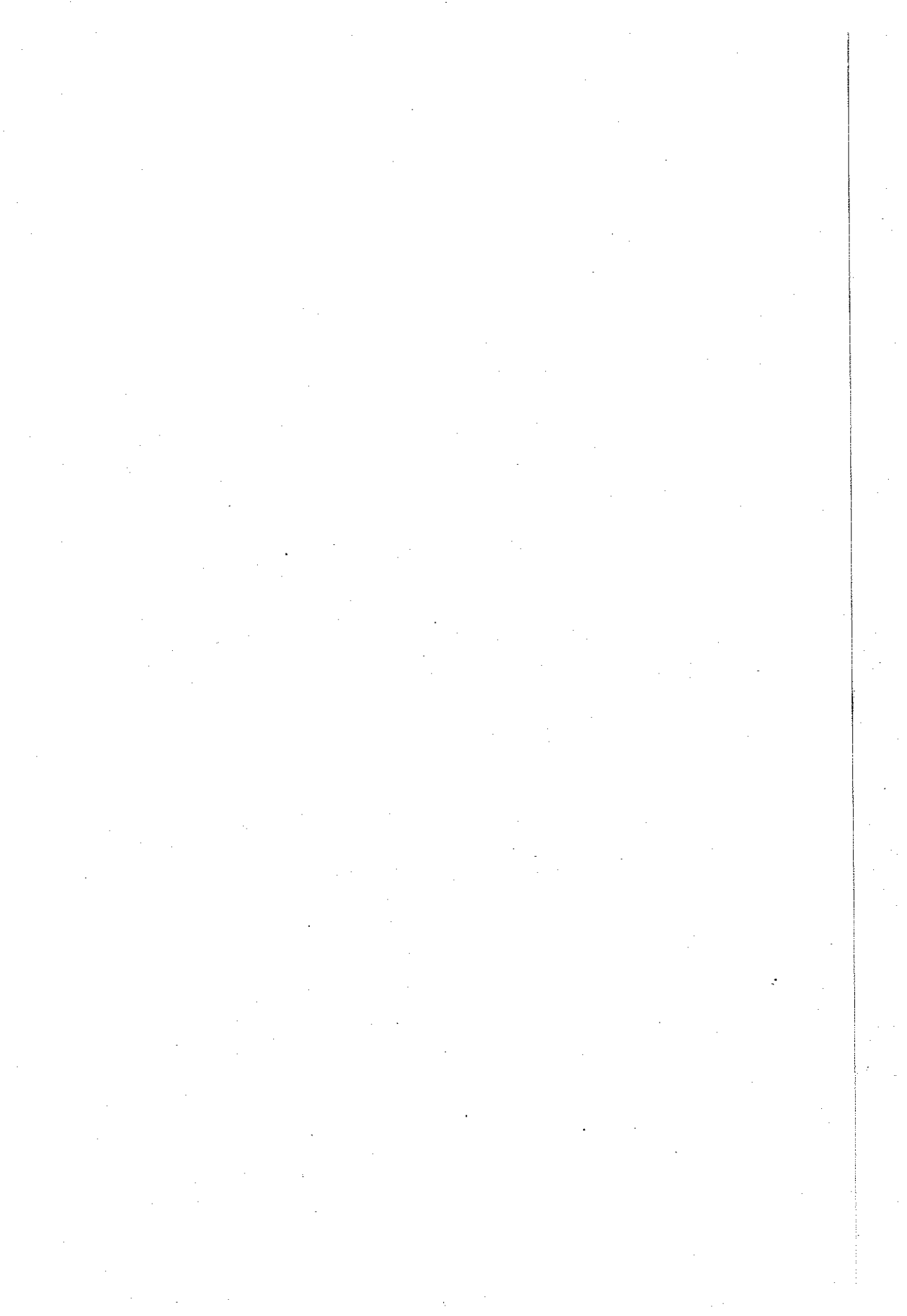
A megmunkálás pontosságának növelése érdekében tehát a rendszeren ható tényezők okozta szóródás nagyságának csökkentésén és aktív méréssel való szabályozásán kívül, igen fontos feladat a forgácsoláskor véletlenül ható tényezők okozta szóródás csökkentése.

Dinamikus beállításokor az MKGS-rendszerben fellépő rugalmas elmozdulásokat egyenlítik ki a méretlánc zárótagjának közel állandó értéken tartásával. A szerszámél és a munkadarab tengelye közötti távolság állandóságát tehát az MKGS-rendszerben levő rugalmas elmozdulások révén valósítják meg. Ez a szabályozás - amit alkalmazkodó szabályozásnak, vagy adaptív controlnak (AC) hívnak - különösen a véletlenül ható tényezők okozta hiba kiküszöbölésére alkalmas.

Nagyszámu kísérlet tanulsága szerint a véletlenül ható tényezők között forgácsoláskor legnagyobb szerepe a ráhagyás és a keménység ingadozásának van. A ráhagyás- és a keménység ingadozása a forgácsolóerő ingadozásával jár. Az ebből adódó szóródás ellensúlyozása legegyszerűbben az előtolás megfelelő változtatásával érhető el. Erre alkalmas irányítástechnikai berendezésekkel a gépgyártás rendelkezik. Az MKGS-rendszerben ható erők állandó értéken tartásával a megvalósuló méret kívánt pontossága is biztosítható.

Irodalomjegyzék a 2. fejezethez

1. ANGYAL - CVEZERENCZ - POPITY: Forgácsolástechnológiai táblázatok Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1979.
2. BALAKSIN, B.Sz.: Osznovü tehnologii masinosztroenyija Izd. "Masinosztroenyije", Moszkva, 1966.
3. BÁLINT Lajos: A fogácsoló megmunkálás tervezése. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1961.
4. DÉNES-ÓRFFY-RUDAS: Forgácsoláselmélet, forgácsolástechnika II. Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1968.
5. Dr. GRIBOVSZKI László: Gépipari megmunkálások. Tankönyvkiadó, Budapest, 1977.
6. KASIRIN, A.I.: A gépgyártás technológiája Tankönyvkiadó, Budapest, 1952.
7. KORSZAKOV, V.Sz.: Tocsnosztyi mechanicseszkoj obrabotki Masgiz, Moszkva, 1961.
8. LECHNER, Egon: Forgácsoló készülékek szerkesztésének elemei Tankönyvkiadó, Budapest, 1966.
9. Dr. MOLNÁR József: A megmunkáló rendszer elmozdulékonysága Gépgyártástechnológia, 1973.
10. Dr. RÁNKI Miklós: Gépgyártástechnológia II. Tankönyvkiadó, Budapest, 1964.
11. SZILÁGYI-VÁRADI-BALÁZS-KÁDÁR: Gépgyártástechnológia I. (49930)I. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1977.



3. A forgácsoló megmunkálások előgyártmányai és a ráhagyás meghatározása

3.1 Az előgyártmány kiválasztása

A forgácsoló megmunkálás során a munkadarab külső méretei - hossza, átmérője, vastagsága stb. - a forgácsleválasztás következtében csökkennek, belső méretei pedig - mint pl. horonyszélesség, furatok átmérője, üregek méretei stb. - növekednek. A munkadarab előállításához szükséges kiindulási nyersdarabnak tehát külső méreteiben nagyobbak, belső méreteiben viszont kisebbnek kell lennie, mint a kész alkatrész. A nyersdarabot, amit előgyártmánynak is hívunk, valamely más - nem forgácsoló - technológiai eljárással állítják elő.

Az elkészítési technológia szerint a fémből készült előgyártmányok a következők lehetnek:

- hengerelt,
- huzott,
- kovácsolt,
- sajtolt,
- öntött,
- porkohászati eljárással készített.

A fentiekben felsorolt technológiai eljárásokkal készült előgyártmányokat a forgácsolás megkezdése előtt gyakran vetik alá további forgács nélküli megmunkálásoknak, mint például:

- hegesztés,
- forrasztás,
- kivágás,
- hajlítás,
- mélyhuzás,
- hidegfolyatás stb.

Az előgyártmány anyagát a szerkesztő írja elő, a technológus legfeljebb javaslatot tehet annak megváltoztatására, olyan esetben, amikor úgy látja, hogy az általa javasolt anyaggal a minőség fenntartása mellett gazdasági előny érhető el.

Az előgyártmány fajtájának megválasztásánál már nagyobb szerep jut a technológusoknak, bár egyes esetekben a szerkesztő által előírt anyag eleve kizárja a változtatási lehetőséget. Így pl. öntöttvas esetében az előgyártmány csak öntött lehet. Ötvözetlen vagy ötvözött acél előírása esetén azonban már lehet választani hengerelt és kovácsolt előgyártmány között, sőt elképzelhető olyan eset is, hogy acélöntvény vagy precíziós öntvény alkalmazása gazdaságosabbnak mutatkozik.

A forgácsoló megmunkálás szempontjából feltétlenül előnyös, ha az előgyártmány minél jobban megközelíti a kész alkatrész alakját és méreteit, mert ezáltal jelentős mennyiségű nyersanyag és forgácsolómun-ka takarítható meg. A technológusnak azonban minden esetben meg kell vizsgálnia, hogy az anyagköltségben és megmunkálási költségben így elért megtakarításnál nem nagyobb-e az a többletköltség, ami az előgyártmány előállításánál a kis ráhagyást és a méretek pontos betartását biztosító eljárás és berendezések bonyolultsága miatt jelentkezik. Csak ennek a vizsgálatnak az elvégzése után lehet eldönteni, hogy milyen előgyártmányból kiindulva lesz a gyártás a leggazdaságosabb.

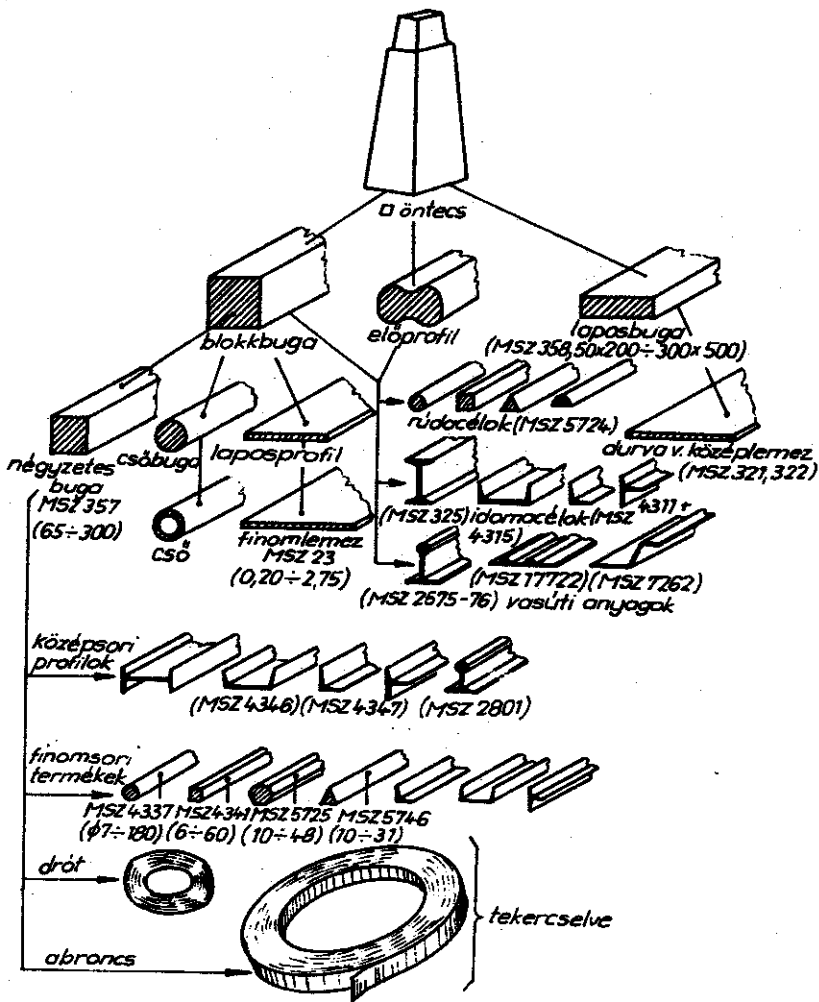
3.11 Hengerelt előgyártmányok

A hengerelt anyag elterjedt előgyártmány egyedi gyártásakor, a sorozat- és tömeggyártáskor pedig olyan alkatrészeknél, amelyek végleges alakjának és méreteinek megvalósítása nem igényli vastag réteg eltávolítását (tengelyek, perselyek, tárcsák). A hengerelt termékek készülnek szénacélból, ötvözött acélból és színesfémekből (aluminium, réz, stb.). A hengerelt rudakat a kohászati üzemek általában 4-6 m hosszú szállítják. A fontosabb hengerelt termékek családfáját a 3.1 ábra mutatja be.

A hengerezelt anyagok egy részét a kohászati üzemekben hideghuzásnak, hántolásnak, és köszörülésnek vetik alá. A hidegen huzott acélok türese h_9 és h_{11} lehet, a felület érdessége $R_a = 0,63 \dots 2,5 [\mu\text{m}]$.

A huzott anyagok szűk türesei miatt megmunkáláskor biztonságosan fel-foghatók szorítóhüvelyek segítségével, ezért sorozat- és tömeggyártásban revolver- és automataesztergákon huzott anyagok automatikus adagolása és befogása zavartalanul megvalósítható. A hidegen huzott acélok - a szükséglettől függően - rendelhetők lágyítás nélkül, illetve kívánt módon lágyított állapotban.

A hántolással a hengerelt vagy kovácsolt rudak erősen revés és elszéntelenedett külső rétegét távolítják el $\varnothing 30 \dots \varnothing 125$ mm köracél-ról h_{11} türeést biztosítva. A hántolt acélokat sima tengelyek gyártásához, revolver- és automataesztergákon végzett megmunkálásoknál használják.



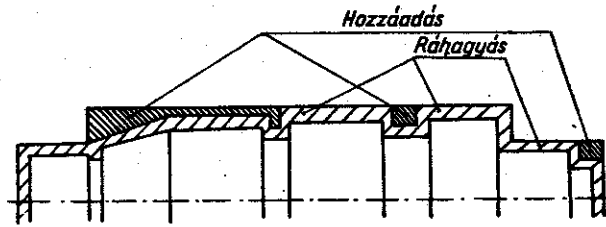
3.1 ábra
A fontosabb hengerelt termékek családfája

Köszörüléssel munkálják meg szerszámacélból és más olyan acélból (pl. golyócsapágyacél) készült rudak felületét, melyeknél a felhasználás szempontjából fontos a dekarbonizált (elszéntelenedett) felületi réteg eltávolítása, valamint a kívánt türés és felületi érdesség biztosítása. Kohászati üzemünk köszörülnek huzott (8 mm átmérőig) és hengerelt (8...40 mm átmérők között) rudanyagokat. A köszörült acélok türése h8, h9, h11 lehet.

3.12 Kovácsolt és sajtolt előgyártmányok

A kész alkatrész alakját és méreteit jól megközelítő, kívánt mechanikai tulajdonságokkal rendelkező előgyártmányok készíthetők ütéssel vagy nyomással történő képlékeny alakítással is. Az alkalmazott szerszám és alakítási viszonyok szerint a képlékeny megmunkálás lehet: szabadalakító kovácsolás, süllyesztékes kovácsolás, hidegsajtolás stb.

Szabadalakító kovácsolással öntecsből vagy hengerelt bugából készítenek egyedi vagy kisorsozatban gyártott kovácsdarabokat. A szabadalakító kovácsolással készített előgyártmány a munkadarab kézi irányítása miatt kevéssé közelíti meg az alkatrész alakját és méreteit. Ezzel az eljárással csak egyszerűbb alaku munkadarabok alakíthatók ki, ezért a számított ráhagyáson kívül gyakran hozzáadással teszik az előgyártmányt egyszerűbb alakúvá (3.2 ábra).



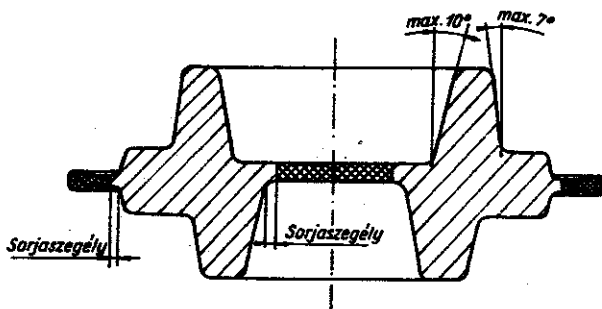
3.2 ábra
Ráhagyások és hozzáadások kovácsdarabnál

Süllyesztékes kovácsoláskor a munkadarab közelítő alakját kovácsoló- vagy sajtológépen zárt üregű szerszámmal adják meg. A kapott előgyártmány így jóval pontosabb, mint a szabadalakító kovácsolással készített. Ennek alkalmazása sorozat- és tömeggyártásban gazdaságos.

A ráhagyások és türések megállapításánál szabvány szerint kell eljárni. A süllyesztékben kovácsolt előgyártmányok méretszóródását a süllyeszték kopása, az adagok egyenlőtlen felmelegítése és különböző zsugorodása, és a darabolási hossz hibája okozza.

Furatos darabokat nem lehet süllyesztékben átütött lyukkal előállítani. Ezért kovácsolásnál az üregeket csak belyukasztják és a maradt közbülső réteget a sorjázáskor távolítják el. (3.3 ábra)

Süllyesztékes kovácsolás vízszintes kovácsológépeken is végezhető. Ezek az alakítógépek rudanyagból duzzasztással dolgoznak, melynek következtében a megmunkálás igen termelékeny (400...900 db/6), a kovácsdarab pontossága kedvező, takarékos az anyagfogyasztás, minimális a sorjavesztés. Az eljárás főleg egyszerűbb forgástestek kialakítására alkalmas.



3.3 ábra
Süllyesztékben kovácsolt előgyártmány

A finomkovácsoló eljárás hengeres kiinduló anyagból lépcsős, kupos tengelyek kialakítására alkalmas. A finomkovácsolás pontossága közel áll a nagyoló megmunkálás pontosságához.

Hidegfolyatással általában vékonyfalú és üreges alkatrészeket munkálnak meg a tömeggyártásban. A hidegfolyatott alkatrészek méretpontossága IT12 - IT7 között készíthető el, a felület igen sima, a kialakuló szálirány jól követi a munkadarab alakját. Alkalmazása jó lehetőséget nyújt az anyagtakarékosságra és a termelékenység növelésére.

3.13 Öntött előgyártmányok

A gépgyártásban előforduló öntött előgyártmányok öntöttvasból, acélból, szinesfémekből különböző pontossággal készülnek. Legelterjedtebbek az öntöttvasból készült öntvények. Az acélöntvények nagy mechanikai szilárdsággal rendelkeznek. Szinesfémeket a súlycsökkenés (aluminium ötvözetek), a jó hő- és villamosvezetés (réz ötvözetek) és egyéb speciális tulajdonságok biztosítása céljából, illetve gazdaságossági megfontolásokból alkalmaznak.

A gyártás tervezésekor az öntési technológiákkal elérhető technológiai tulajdonságok ismeretében választható meg az öntvény és mechanikai megmunkálása.

Az öntvények pontossága és felületi érdessége elsősorban az öntés módjától függ.

Kézi formázással történő öntés pontatlansága a többi öntési eljáráshoz képest aránylag nagy. Ezért csak az egyedi és kis- vagy közép-sorozatgyártásban gazdaságos az alkalmazása. Ezzel a módszerrel vas-, acél- és fémöntvények készíthetők. Nagy súlyú öntvényeknél kizárólag ezt alkalmazzák.

A gépi formázással pontosabb öntvényt lehet készíteni. A gépi formázással való öntés jellegzetes alkalmazási területe a nagysorozat- és tömeggyártás.

Az öntést fémből kialakított negatív formába (kokillába) üreges alkatrészeknél főleg csak a könnyen olvadó fémeknél alkalmaznak. A fémmóba való öntést leginkább könnyűfémeknél használják. A kokilla élettartama vasöntvényeknél 1500...5000 db között van, míg alumíniumöntvény esetében 100000 öntést lehet elérni. Jellegzetesen tömeggyártó módszer. Szerszáma költséges, viszont pontos előgyártmányt eredményez. Így készülnek általában a gépkocsimotor-dugattyuk és az olyan bonyolult öntvények, mint a léghütéses hengerfejek.

Az öntődei tömeggyártás legkorszerűbb eljárása a héjformázás. A héjformázás gazdaságossága nemcsak nagy termelékenységében rejlik, hanem abban is, hogy nagy méretpontossága következtében a megmunkálási ráhagyások a gépi homokformázáshoz viszonyítva lényegesen csökkenthetők, és ezáltal csökken a forgácsoló megmunkáláshoz szükséges munkaidő is, sőt egyes esetekben a forgácsolás teljesen el is hagyható.

Perselyek és gyűrűk öntésére kiterjedten alkalmazzák a kokilla-öntés egy különleges módozatát, a centrifugális öntést.

Az így előállított perselyek külső kerületével határos rétegben az öntvény igen tömör szövetszerkezetű. Gázhólyagok nem lesznek az öntvényben, a szilárdságot befolyásoló oxidrészecskék pedig - mivel kisebb fajsúlyúak, mint a tiszta öntöttvas - a persely belső felületén helyezkednek el.

A precíziós öntés alkalmazási területe a kis méretű, bonyolult alaku, nehezen forgácsolható ötvözött acélokból készült alkatrészek gyártása. Az öntés pontossága olyan kevező, hogy forgácsoló műveletek alkalmazása többnyire felesleges, esetleg köszörülés szükséges.

A nyomás alatti öntés gazdaságossága elsősorban a forma élettartamától függ. A nyomásos öntést inkább csak alacsony olvadáspontu horgany, alumínium, réz, ólomötvözetek öntésére használják, viszont a nyomásos öntéssel (fröccsöntéssel) olyan pontos öntvények állíthatók elő, amelyek az utólagos gépi megmunkálást a minimumra csökkentik, vagy teljesen feleslegessé teszik.

3.2 A ráhagyások felépítése és összetevői

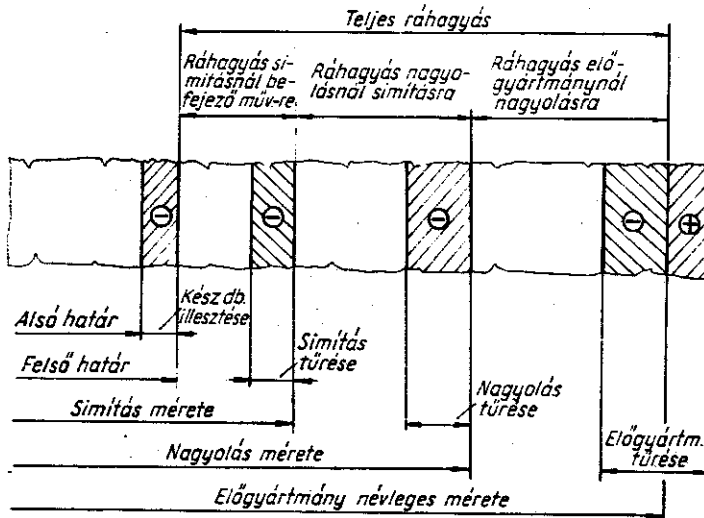
Az alkatrész megkövetelt méret-, alak és helyzetpontosságát, valamint előírt felületi érdességét a forgácsoló megmunkálás során általában több művelettel biztosítjuk. Az egymás után következő műveletek finomításával - pl. nagyolésztergálás, simítóesztergálás, köszörülés - fokozatosan csökkentjük az előző műveletek megmunkálási hibáit addig, amíg a kívánt minőséget el nem értük. Minden egyes művelettel (fogással) legalább olyan vastag réteget kell leválasztanunk, hogy vele eltávolítsuk az előző művelet hibáit, de ugyanakkor gondolnunk kell arra is, hogy a következő művelet hibáinak fedezésére még elegendő ráhagyás maradjon.

Két, egymást követő művelet között levő ráhagyás a műveleti ráhatás. Előfordul természetesen, hogy ugyanazon a műveleten belül végezzük el a nagyolást és a simítást is; ilyenkor a műveleti ráhagyást értelemszerűen a műveletelemekre kell számítani.

A műveleti ráhagyások összegzésével kapjuk a teljes ráhagyást, ami tulajdonképpen nem más, mint az előgyártmány és a készgyártmány méretének a különbsége.

A munkadarab ráhagyása az első művelet előtt a teljes ráhagyással, az utolsó művelet előtt pedig annak műveleti ráhagyásával azonos.

Műveleti méret az a méret, amelyre a munkadarabot egy bizonyos műveletben el kell készíteni, hogy a további műveletek ráhagyásainak összege a megmunkálendő felületeken rajta legyen.



3.4 ábra

A műveleti méretek és a teljes ráhagyás alakulása
külső méretű felületeken

Műveleti tűrés a műveleti méret megengedett eltérése és ez egyben a ráhagyás tűrése is. (3.4 ábra). A ráhagyásnak ugyanis biztosítania kell a műveleti hibák fedezését, tehát szükséges, hogy méretségűrdődása ne haladjon meg egy meghatározott értéket.

A ráhagyásokat mindig a felületre merőleges irányban kell elképzelni és mérni. Rendszerint "egy oldalra", azaz "felületenként" számítottjuk. Hengeres felületeken a ráhagyást "átmérőre" szokás megadni, ami a felületi ráhagyás kétszerese.

Ha a műveleti ráhagyás túl nagy, akkor azt több fogással távolítják el. Ilyen esetben a műveleti tűrést természetesen csak az utolsó fogásnál kell betartani.

A teljes és a műveleti ráhagyások helyes vagy helytelen megállapítása nagymértékben befolyásolja a gyártás gazdaságosságát.

- A feleslegesen nagy ráhagyások növelik a nyersdarab méreteit és ezzel együtt az anyagköltséget is, túlságosan kis ráhagyások viszont selejtet okozhatnak és a selejt pótlásához sokkal több anyagot kell felhasználni, mint amennyit a ráhagyások túlzott csökkentésével meg akartak takarítani.
- A túl nagy ráhagyás növeli a fogások számát, vagy csökkenti az alkalmazható előtolás mértékét, tehát növekednek a munkálási idők, a kis ráhagyások pedig a mellékidőket növelik, mivel a selejt elkerülése érdekében gondosabban kell a beállításokat végzeni.
- A nagyobb ráhagyások növelik a szerszámkopást és ezzel a szerszámfogyasztást is.
- A nagy ráhagyások leválasztásához nagyobb forgácsolási teljesítmény szükséges, ezáltal növekszik az energiafelhasználás is.

A ráhagyások megállapításakor meg kell találni azt a legkedvezőbb ráhagyást, amely mind a minőségi, mind pedig a gazdaságossági feltételeket kielégíti. A ráhagyások a hibák alapján számítással meghatározhatók. A munkadarab hibái kétfélek: "örökölt" és "soron levő" hibák.

Az előző műveletből örökölt hibák, amelyeket a soron levő műveletben el kell tüntetni, a következők:

- a méret eltérése a pontos mérettől (r_m);
- a nyert alak eltérése a geometriai alaktól, (r_a);
- a felület eltérése az ideális felülettől, (r_f);
- a felületi réteg fizikai roncsolódása vagy kémiai változása, (r_r);

Ez az összeg azonban még nem azonos a műveleti ráhagyással, hanem még hozzá kell adnunk a soron levő műveleti hibáit is, amelyek a következők:

- a helyzetmeghatározási hibák,
- a megmunkálási hibák,
- egyéb hibák.

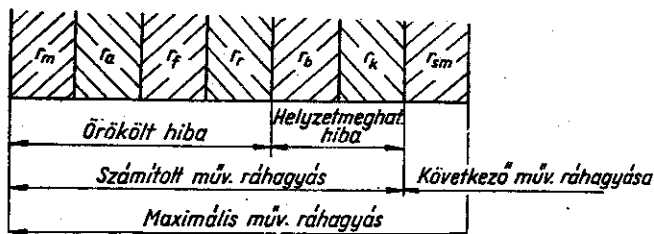
Ezeket a hibákat egyenként kell elemeznünk, hogy keletkezésük okát megismerjük, nagyságukat pedig meghatározhassuk.

A helyzetmeghatározási hibák származhatnak a bázisfelület hibájából (r_b), vagy a készülék (felfogás) hibájából (r_k).

A soron levő művelet megmunkálási hibájának megfelelő rétegvastagságot, bár a ráhagyáshoz tartozik, nem számítjuk be a ráhagyás értékébe, mert azt a következő művelet ráhagyásánál vesszük figyelembe, mint előző műveleti méret türését (r_{sm}). Utolsó művelet esetén ez a türés azonos a kész méret türésével.

Az egyéb hibák csoportjába soroljuk azokat, amelyek az általános forgácsoló megmunkálásnál szokásos hibákon túl fordulnak elő és a ráhagyás további növelését teszi szükségessé. Ilyen esettel állunk szemben gyakran a különböző hőkezelési műveletek során, ahol a hőkezelés okozta deformációk miatt többletráhagyásról kell gondoskodnunk.

Ha az utolsóként említett "egyéb hibákból" származó ráhagyás-összetevő kivételével a fentiekben felsorolt valamennyi "örökölt" és "soron levő" hiba miatt szükségessé váló összetevőt összegezzük, akkor megkapjuk a műveleti ráhagyás maximális értékét: (3.5 ábra).



3.5 ábra
A műveleti ráhagyás összetevői

$$R_{m \max} = r_m + r_a + r_f + r_r + r_b + r_k + r_{sm}$$

az r_{sm} összetevőt, azaz a soron levő művelet megmunkálási hibáját (türését), elhagyva pedig a műveleti ráhagyás "számított" értékét:

$$R_m = r_m + r_a + r_f + r_r + r_b + r_k .$$

E képletben szereplő összetevők közül csak a felület mikrogeometriai hibáiból és a roncsolt réteg vastagságából eredő, azaz az r_f és az r_r ráhagyásösszetevő értéke állandó egy bizonyos munkadarab valamely műveleténél, míg a többiek véletlen hibák, amelyek mértéke változó a statisztikus eloszlás törvényei szerint. Mivel igen kicsi a valószínűsége annak, hogy ezek a véletlen hibák valamennyien egyszerre a legnagyobb értékükkel forduljanak elő, ezért összegezésüket úgy végezzük, hogy a ráhagyás-összetevők négyzeteinek összegéből négyzetgyököt vonunk. Ezzel a műveleti ráhagyás számított értékének léplete a következőképpen alakul:

$$R_m = r_f + r_r + q \cdot \sqrt{r_m^2 + r_a^2 + r_b^2 + r_k^2} ,$$

ahol q értéke forgácsoló megmunkálás esetén 1, 2.

A teljes ráhagyás az összes művelet egymás után következő műveleti ráhagyásnak összegével egyenlő:

$$R_t = \sum_{i=1}^n R_m ,$$

ahol n a szükséges műveletek száma.

A műveleti méreteket a ráhagyások beszámításával kell megállapítani. Külső méret, mint pl. egy csap külső átmérője vagy egy borda vastagsága esetén minden műveleti méret az utána következő műveleti méretnek a műveleti ráhagyással növelt értéke, viszont belső méretnél, pl. furatátmérőnél vagy horonyszélességnél a következő műveleti méretet a ráhagyással csökkenteni kell.

A műveleti türést mindig "anyagba" kell megadni, azaz figyelembe kell venni a megmunkálás irányát. Ezt azt jelenti, hogy a külső méret esetén a türés negatív előjelű, azaz a türésmező elhelyezkedése ugyanolyan, mint az ISA illesztési rendszerben a h-illesztésű csapok esetében, vagyis az alapsapoknál. Belső méretnél viszont pozitív előjelű a türés, vagyis megfelel a H-illesztésű lyukaknak, azaz az alaplyukaknak.

A műveleti méreteket az utolsó művelettől indulva az előző műveletek felé haldava kell megállapítani. Az utolsó művelet mérete a kész alkatrésznek a rajzon a gyártmányszerkesztő által megadott mérete, türését pedig az illesztés előírásával ugyancsak a szerkesztő adja meg.

Az összes többi műveleti méretek és a hozzájuk tartozó tűrések meghatározása viszont a gyártástervező feladata.

3.3 A ráhagyás gazdaságos megválasztása

Általános esetben - tehát ha nincs a konkrét feladattal kapcsolatban olyan különleges ok, amely miatt más megoldást kell alkalmazni - arra kell törekedni, hogy a munkadarab megmunkálását ne csak minél kevesebb befogással, hanem emellett minél kevesebb fogással végezzük el.

Ennek érdekében arra kell törekedni, hogy a nagyolást lehetőleg egy vagy minél kevesebb fogással végezzük el még akkor is, ha az befejező művelet (pl. a tűrésezetlen méretű felületeknél). Ha a nagyolás előkészítő művelet, akkor viszont arra kell törekednünk, hogy a simítás részére csak a szükséges ráhagyás maradjon utána a megmunkálendő felületen.

Hasonlóképpen a félsimitásnál és a simításnál is az a helyes törekvés, hogy minél kevesebb fogással érjük el a készméretet (ha befejező a művelet), illetve a szükséges ráhagyással növelt méretet (ha előkészítő műveletként végezzük), de az utóbbi esetben a szükségesnél nagyobb ráhagyás ne maradjon a felületen.

A finommegmunkálás mindig befejező művelet, tehát itt a készméretet kell minél kevesebb fogással elérni.

Ezekkel az általános megfontolásokkal kapcsolatban tisztázni kell, hogy mit értünk szükséges nagyságu ráhagyáson és mit értünk minél kevesebb fogáson.

Nagyolásnál az a célunk, hogy minél nagyobb mennyiségű forgácsot válasszunk le időegységenként. Olyan nagy fogásmélységgel, előtolással és forgácsolósebességgel forgácsolunk, amilyent a szerszámgép teljesítménye, a szerszámgép-szerszám-munkadarab rendszer, valamint a befogás merevsége és végül a szerszám gazdaságos éltartama lehetővé tesz, mert így a legkisebb a térfogat egységnyi fogács leválasztásának költsége. Ezt az előnyt azonban a pontosság és a felület minőségének rovására érjük el. A munkadarab egyes felületeinél megfelelő lehet a nagyolással megvalósított pontosság és felületminőség is. Ilyenek rendszerint azok a felületek, amelyek más alkatrészszel nem érintkeznek működés közben. A munkadarab más felületeit - rendszerint azokat a felületeket, amelyek működés közben más alkatrészekkel elmozdulnak vagy azokhoz illeszkednek - simítani kell, vagy ha a követelményeket a simítás sem elégíti ki, akkor finommegmunkálással kell készremunkálni,

hogy ezekkel az egyre kisebb fogásokkal végzett és egyre kevésbé termelékeny műveletekkel fokról fokra megszüntessük az előző művelet után még megmaradt méret-, alak- és helyzethibákat és javítsuk a felület minőségét.

Minden következő művelet részére olyan vastag anyagréteget kell a munkadarabon rajta hagynunk, hogy annak leforgácsolásakor el lehessen tüntetni az előző művelet következtében megmaradt hibákat és - ha a következő művelet még nem befejező művelet - még maradhasson annyi ráhagyás a befejező művelet részére, hogy majd ennek lemunkálásakor a megmaradt hibákat meg lehessen szüntetni.

Az előző műveletből maradt hibák miatti ráhagyási rétegvastagságok:

- anyagszerkezeti hibák és érdesség miatt hibás felületi réteg (R_{eh}),
- mérethibák miatt (R_{em})
- alak- és helyzethibák miatt, (R_{ea}).

A következő művelet várható hibái miatt szükséges ráhagyási rétegvastagságok:

- a helyzetmeghatározási (bázismegválasztási és felfogási) hibák miatt: R_{kb} és R_{kf} ,
- megmunkálási hibák miatt: R_{km} .

A szükséges ráhagyás ezeknek összege:

$$R_{szüks.} = R_{eh} + R_{em} + R_{ea} + R_{kb} + R_{kf} + R_{km}.$$

Az előző műveletből származó hibákat ismertnek tekintjük, ha arra vonatkozóan a mérethibával, az alak- és a helyzethibával kapcsolatos tűrést és a felületminőséget meghatározták és csak olyan munkadarabon végezzük el a következő műveletet, amelyik az előző műveletre meghatározott tűréseken belül van és felületminősége is megfelelő.

Ugyanígy a következő művelet várható hibáit is a megmunkálási mód figyelembevételével tűrésként kell megadnunk.

A szükséges ráhagyás meghatározásához ismerni kell a nyersdarabok hibás felületi rétegének vastagságát, ami tájékoztató jelleggel hozzávetőlegesen:

hengerelt anyagoknál	0,5 - 1,0 mm,
süllyesztékben kovácsolt daraboknál	0,5 - 1,5 mm,
szénacélból szabadon kovácsolt daraboknál	1,5 - 3,0 mm,
ötvözött acélból szabadon kovácsolt daraboknál	2,5 - 3,5 mm,
acélöntvénynél	1,0 - 5,0 mm,
szürke öntvénynél	2,0 - 5,0 mm.

Az öntvények, kovácsolt darabok és a hengerelt áruk türését szabványok és gyári előírások határozzák meg. (MSZ 5745; MSZ 8281; MSZ 8271.)

A hibás réteg vastagsága körülbelül a megmunkálási módnak megfelelő érdességi mélység (R_{\max}) kétszerese oldalanként, amelyre jellemző adatok:

nagyoló esztergálásnál	32 - 600 μm ,
simitó esztergálásnál	6,3- 32 μm
finom esztergálásnál	0,5- 6,3 μm ,
nagyoló köszörülésnél	3,2- 10 μm ,
simitó köszörülésnél	1,6- 3,2 μm ,
finom köszörülésnél	0,5- 1,6 μm ,
nagyoló marásnál	19 - 200 μm ,
simitó marásnál	3,2- 19 μm .

A külső hengeres felületek nagyolásánál meghagyandó simitási ráhagyások nagysága az átmérőtől és a befogási hosszúságtól függően az átmérőre vonatkoztatva 0,75...3,00 mm, amelyekhez az esetleges helymeghatározási hibát még hozzá kell adni.

A simitási ráhagyások megválasztásához tájékoztató adatokat nyújt a 3.1 táblázat.

A simitásnál köszörülésre meghagyandó ráhagyás az átmérőtől, befogási hosszúságtól és a befogás módjától függően 0,25...2,1 mm átmérőre számítva, amely értékekhez hozzá kell adni a helyzetmeghatározási hibát. Ha a köszörülés két lépésben történik, akkor a ráhagyás 70%-át nagyoló köszörüléssel és 30%-át simitó köszörüléssel kell lemunkálni. A köszörülési ráhagyás közelítő megválasztásához segítséget ad a 3.2 táblázat.

A ráhagyás nagysága elméleti alapon csak bonyolult módon, igen sok táblázati adat segítségével, számítható. A gyakorlatban a tapasztalat alapján veszik a ráhagyásokat az IT minőségnek megfelelően:

- köszörülésre	IT 11 oldalanként
- simitásra	IT 14 oldalanként
- nagyolásra	IT 16 oldalanként.

**Ráhagyások külső hengeres felületek nagyoló esztergálásánál
simitó esztergálásra
(átmérő mm)**

Átmérőcsoport d mm	Befogási hosszúság, mm					
	100- ig	100- 300	300- 500	500- 1000	1000- 2000	2000 felett
6 ... 18	0,75	1,0	1,25	-	-	-
18 ... 50	1,0	1,2	1,4	1,5	1,8	-
50 ... 120	1,2	1,5	1,6	1,8	2,0	2,0
120 ... 260	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	2,5
260 ... 500	1,8	2,2	2,5	2,8	3,0	3,0

Természetesen ezek az értékek csak akkor érvényesek, ha az előzetes megmunkálások pontossága legalább az alábbi volt:

- köszörülés előtti simítás IT 8 ... IT 9.
- simítás előtti nagyolás IT 11 ... IT 12.
- a nagyolás előgyártmánya hengerelt áru.

Az így megadott IT minőségek egyébként a leírt megmunkálási módok gazdaságos gyártási pontosságát is jelentik. Ezért a műveletközi méreteknél is ezeket a tűréseket lehet előírni.

A technológiában fontos alapelv, hogy ha forgácsolással minél pontosabb méretet kívánunk előállítani, akkor annál több lépésben kell a megmunkálást végrehajtani.

3.2 táblázat

**Ráhagyások külső hengeres felületek simító esztergálásánál
kőszőrülésre
(átmérő mm)**

Az alkatrész jellege	Befogási hosszúság, mm			
Sima, edzetlen	800-ig	300...1200	1200...2000	20000 felett
Lépcsős, edzetlen	400-ig	400... 800	800...1500	1500 felett
Edzendő	200-ig	200... 500	500 felett	-
Csucs nélküli kőszőrülésre	200-ig	200 felett	-	-
Átmérőcsoportok, mm	Ráhagyás átmérőre, mm			
10-ig	0,25	0,30	-	-
10 ... 18	0,30	0,35	0,45	-
18 ... 30	0,35	0,40	0,55	0,80
30 ... 50	0,40	0,50	0,65	0,95
50 ... 800	0,50	0,60	0,75	1,10
80 ... 120	0,60	0,70	0,85	1,25
120 ... 180	0,65	0,80	1,00	1,65
180 ... 260	-	0,90	1,10	1,65
260 ... 360	-	-	1,25	1,85
360 ... 500	-	-	-	2,10

3.4 Az előgyártmányok előkészítése forgácsoló megmunkálás előtt

Tisztítás. Megmunkálás előtt a nyers munkadarabról el kell távolítani a külső kemény, szennyező réteget. Elsősorban a revés kéreg, öntvényeknél ezenkívül a felületre ráégett formázóhomok jelenléte káros, mivel koptató hatásuknál fogva jelentős mértékben csökkentik a forgácsolószerszámok élettartamát.

A tisztítást egy erre a célra berendezett és a termelő üzem egyéb részeitől elválasztott üzemszobában kell végezni, gondoskodva a tisztításnál keletkező szálló por megkötéséről vagy elszívásáról.

Darabolás. Az előgyártmányok egyes fajtái, mint pl. rudak, csövek, bugák, lemezek, általában nem a gyártó mű szállítási méreteiben kerülnek további feldolgozásra, hanem azokból a megmunkálás kezdetén a belőlük előállítandó munkadaraboknak megfelelő méretű darabokat váganak le.

Az anyaggazdálkodás könnyebb nyilvántartása, a hulladékanyagok gazdaságos felhasználása és a belső anyagmozgatás csökkentése végett célszerű, ha a darabolást nem a termelőüzemben, hanem egy külön darabolóműhelyben végzik, amely helyileg és szervezetenként az anyagraktárhoz tartozik.

A rudanyagok, bugák és csövek darabolása legtöbbször fűrészgépen történik.

Köracélok és csövek darabolhatók esztergapadon vagy revolver-, illetve automataesztergán is leszurással vagy vízszintes marógépen fűrészlécével, de a legtöbb esetben nem gazdaságos egy univerzális szerszámgepet ilyen célra felhasználni.

Nagyméretű csövek darabolására készítenek különleges leszurógépeket.

A különböző alkatrészek előállításához szükséges anyagmennyiség, vagyis az anyagnorma megállapításánál számításba kell venni a forgácsolással végzett darabolásnál keletkezett anyagvesztést és az oldalazási ráhagyást. Ezek értékeit a 3.3 táblázat tartalmazza.

A forgácsnélküli darabolás gépei a különféle kézi és gépi ollók, amelyekkel elsősorban lemezeket és széles-, ill. laposacélokat darabolnak, de különleges szerszámokkal kisebb méretű rudak és idomacélok is vágatók velük.

Ha a lemezeket egyenes vonal mentén kell szétvágni, mint pl. lemezcsikokra való darabolás esetén, akkor erre a célra a különböző ollófajták közül a táblaolló (csapóolló) a legalkalmasabb. Ezzel az ollóval - a vágandó lemez anyagának szilárdságától függően - legfeljebb 15...20 mm vastag lemezek vágatók. Ennél vastagabb lemezeket lángvágóval darabolnak. Ezzel az eljárással nemcsak egyenes, hanem bármilyen

3.3 táblázat

Darabolási veszteség és oldalazási ráhagyás forgácsolással végzett darabolásnál

A kereszt- magszet főmérete mm	Darabolási veszteség (szerszámszélesség), mm					Oldalazási ráhagyás egy felü- letre, mm.
	Leszu- ró kés	Fűrész- tárcsa	Körfü- rész	Keretes fűrész	Darabo- ló kö- szőrü	
20-ig	2	2	4	2	2	1,5
20 ... 50	3				3	2
50 ... 80	4	3			4	2,5
80 ... 120	5	-	7		5...6	3
120 ... 180	6				-	

alaku görbe vonallal határolt lemezidomokat is ki lehet vágni. A korszerű lángvágó berendezések másolóidom segítségével vagy fotoelektromos másolóberendezéssel rajz alapján oly pontossággal és oly finom felülettel vágják ki a legbonyolultabb körvonalu alkatrészeket is - pl. nagyméretü lánckerekeket -, hogy a vágást követően további forgácsoló megmunkálásra gyakran nincs szükség. Lángvágóval nemcsak lemezeket, hanem vastagfalu csöveket és acélbugákat is lehet darabolni.

Vékonyabb lemezekből - a lemez anyagának szilárdságától függően 6...8 mm vastagságig - lángvágáson kívül rezgőollón is lehet körtárcsákat és alakos idomokat kivágni.

Az előgyártmány méretpontosbitása sok esetben szükségessé válhat anyagbeszerzési problémák, vagy szigorubb technológiai előírások esetén.

Hengerelt köracélokat például húzó-egyengetéssel vagy köszörüléssel lehet pontosbitani automatán történő megmunkálás céljára.

Öntött előgyártmányokon forgácsoló megmunkálás előtt a bázishelyek előmunkálását el kell végezni.

Irodalomjegyzék a 3. fejezethez

1. **ANGYAL-CVERENCZ-POPITY: Forgácsolástechnológiai táblázatok** Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1970.
2. **DÉNES-ÓRFFY-RUDAS: Forgácsoláselmélet és forgácsoló technika II. (49.660/II.)** Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1968.
3. **Dr. KISMARTY Lóránd: Gépipari táblázatok** Műszaki Könyvkiadó Budapest, 1970.
4. **SZOKOLOVSZKIJ A.P.: A gépgyártás technológiája** Tankönyvkiadó, Budapest, 1951.

4. A forgácsoló megmunkálás készülékei

4.1 A forgácsoló készülékek szerepe és feladata

A gépgyártásban készüléknek neveznek minden olyan berendezést, amely meggyorsítja vagy megkönnyíti a technológiai folyamatok műveleteinek végrehajtását.

Egy évszázaddal ezelőtt a gépipari gyártásra az egyedi gyártás volt a jellemző. A technika fejlődésének az eredményeként századunk elejére a gépgyártásban a sorozat- és tömeggyártás vált uralkodóvá. Az ilyen gyártási módszerek, és a cserélhetőség elvének széles körű alkalmazása a technológiához igazodó munkaeszközök használatát tette szükségessé. Így került előtérbe a készülékek használatának a fontossága.

A forgácsoló készülék a forgácsoló megmunkálás három elemét: a munkadarabot, a szerszámgépet és a szerszámot összekötő munkaeszköz. A készülékeket a szerszámokkal és a termelésben használt mérőeszközökkel együtt a gyártóeszközök közé sorolják.

A készülékek a termelékenység növelése mellett a csereszabatos alkatrészgyártást is elősegítik. Készülékek alkalmazásával a következő eredményeket érjük el:

- nem kell a munkadarabot előrajzolni,
- a beállítási és mérési idő csökkenésével csökken a mellékidő,
- növekszik a megmunkálási pontosság,
- csökken a munkás szellemi és fizikai igénybevétele,
- kisebb szaktudású munkásokat alkalmazhatunk,
- pontatlan gépen is végezhető pontosabb munka,
- készülékkel csökkenthető a gépi idő is.

Egyedi gyártásban, ahol egyetemes szerszámgépeket használunk, hosszú idő szükséges a munkadarabok beállítására és leszorítására. A munkadarab méretpontosságának biztosítása céljából méréseket is kell végezni, ami általában hosszú idejű. Ezenkívül még a megelőző előrajzolás ideje is növeli a megmunkálási időket.

Sorozat- és tömeggyártásban arra törekszünk, hogy az egyszer beállított helyzetet automatikusan ismételjük annyiszor, ahány darab van a sorozatban. Ezt úgy valósítjuk meg, hogy készülékben való ütköztetés-

sel gondoskodunk a munkadarabnak a szerszám éléhez viszonyított mindig azonos helyzetéről.

A készülékek feladata a munkadarab vagy szerszám helyzetének meghatározása, megbízható leszoritása és esetenként a szerszám vezetése.

Sorozat- és tömeggyártásban a készülékek meglehetősen nagy számban kerülnek felhasználásra.

A készülékek alkalmazását az esetek túlnyomó többségében a gyártandó darabszám indokolja. De ezen túlmenően előfordul olyan eset is, amikor a gyártási szükségszerűség, vagy különleges pontossági kívánalom miatt kell készüléket használni.

Készülékek használatával az egyetemes szerszámgépeket - részben a különleges szerszámgépek tulajdonságaival látjuk el. A készülékezés a gyártástechnológia automatizálásának kezdeti lépéseit is jelenti. Az egyetemes szerszámgépeken kívül különleges szerszámgépeken, a célgépeken, az agragátgépeken és önműködő gépsorokon is megtaláljuk a készülékeket. Az automatizálás terjedésével a készülékezés területe is egyre bővül.

A készülékhasználat szükségességét egy adott esetben a gyártástervező dönti el. Az ő feladata a művelettervben előírni hogy mikor, és a készülékkérő lapon - amelyet a készülékszerkesztési irodára küld -, hogy milyen készülékeket kell a gyártás során felhasználni. A készüléktervező feladata a gyártástervező kívánságai alapján a készülék megtervezése.

A gyártástervezőnek tehát tisztában kell lennie azzal, hogy milyen készülékek használhatók a gyártás során. A készülékek típusainak, szerkesztési elveinek, alkalmazási módjainak az ismerete nélkül helyes technológia nem készíthető. A gyártástervezőnek kell eldöntenie, hogy egy adott művelet elvégzéséhez kell-e és milyen típusu készüléket kell használni.

A készülék kialakításának a feladata a készülékszerkesztőre hárul.

4.2 A készülékezés gazdaságossága

4.2.1 A készülékhasználat műszaki és gazdasági előnyei

Elsődleges kérdésként vetődik fel, hogy milyen előnyei vannak a készülékek használatának a készülék nélküli gyártással szemben.

A készülékhasználat előnyei két csoportba sorolhatók. Egyikbe a műszaki, másikba a gazdasági előnyök tartoznak.

A műszaki előnyök között első helyen szokás említeni a megmunkálási pontosság növelését. Vannak megmunkálások, amelyek elvégezhetők különleges készülék alkalmazása nélkül is, azonban a készülék használata általában nagyobb pontosságot biztosít. Bonyolult (különösen görbe vonalakkal határolt) idomokból sok egyforma munkadarab pontos gyártása csak nagy nehézségekkel, kiváló szakképzettségű munkással végeztethető el alkalos szerszám hiányában. Ugyanezeknek a daraboknak a gyártása egyszerű másolókészülékkel pontosan, kisebb szakképzettségű munkás alkalmazásával is végrehajtható.

Vannak olyan munkadarabok, amelyeknek a gyártása - a megkívánt pontossággal - még a legkiválóbb szakmunkás alkalmazásával sem végezhető el készülék nélkül. Nem képzelhető el pl. fogaskerék megmunkálása (marógépen, tárcsamaróval) osztókészülék használata nélkül.

Az előbbi két példából látható, hogy a helyesen tervezett és használt készülékeknek nagy előnyük az, hogy a megmunkálás eredményét jelentős mértékben függetlenítik a dolgozó ügyességétől, szakképzettségétől.

Egyes esetekben megvalósítható az, hogy a megmunkálás pontossága nagymértékben független legyen a szerszám gép pontosságától is. Ennek akkor van jelentősége, ha pontos megmunkálást kell végezni használt, kevésbé pontos gépen. Sok esetben kialakítható a készülék ilyenkor úgy, hogy a megmunkálás eredménye gyakorlatilag csak a készülék pontosságától, kialakításától függjön.

A gazdasági előny lényegében a gyártási költség csökkentését jelenti.

A készülék használata révén elérhető megtakarítások igen sokféle lehetnek, ezért célszerű csoportosítani azokat

- közvetlen megtakarítások és
- közvetett megtakarítások csoportra.

E felosztás az elszámolhatóság módja szerint különbözteti meg az egyes tényezőket.

Közvetlen megtakarítások:

- m_m [Ft/db] a közvetlen megmunkálási idő (fő- és mellékidő) csökkenése révén elérhető megtakarítás, mely a műveleti idő és az órabér szorzataként adódik. A rezsiköltségek - mivel a gépen végzett munka után kifizetett bérre vannak vetítve - szintén a műveleti időcsökkenés arányában csökkennek.
- m_{sz} [Ft/db] a szerelő lakatosidő csökkenéséből eredő bér és rezszi-megtakarítás (pl. utánmunkálás elmaradása).
- m_e [Ft/db] az előrajzolás elmaradásából származó bér- és rezszi-megtakarítás.
- m_o [Ft/db] órabércsökkenésből eredő megtakarítás (pl. alacsonyabb képzettségű munkás végezheti a műveletet, számítása, mint előbbi eseteknél, órabértétel csökken).
- m_a [Ft/db] a készülék alkalmazása folytán a munkadarabhoz szükséges anyagmennyiség csökkenéséből származó megtakarítás.

Közvetett megtakarítások:

- m_s [Ft/db] a selejtsökkenésből származó megtakarítás
- $m_á$ [Ft/db] a minőség javulása következtében elérhető magasabb ár révén előálló megtakarítás.
- m_t [Ft/db] a műveleti időcsökkenésekből származó nagyobb termelékenység, ami azt eredményezi, hogy a forgóeszközök hamarabb megtérülnek, kamatmegtakarítás áll elő.

A készülékek alkalmazása révén elérhető összes megtakarítást ezek összegeként kapjuk meg:

$$m = m_m + m_{sz} + m_o + m_a + m_s + m_á + m_t$$

Ha az egy év alatt elért megtakarítás:

$$M_1 = n_1 \cdot m,$$

míg a készülék teljes élettartama alatt létrejövő megtakarítás:

$$M = n \cdot m,$$

ahol n a készülék teljes élettartama alatt gyártott munkadarabok száma.

Valamennyi költségsökkentési lehetőség kihasználása egyszerre általában nem lehetséges. Jelentkezhetnek viszont ezek mellett olyan tényezők, amelyek az előbbieknél nem kevésbé fontosak, bár kihatásuk forintban közvetlenül nem fejezhető ki. Ide tartozik pl. a balesetveszély csökkentése.

4.22 A készülékezés költségei

A technológus igyekszik minél több műszaki és gazdasági előnnyel rendelkező készülék használatát előírni. Az "ideális" készülék használatát azonban gyakran megakadályozzák a készülékezés költségei. Az adott munkadarabszám gyártásához megengedhető készülékköltséget gazdaságossági számítással szokás meghatározni. A gazdaságossági és műszaki szempontok mérlegelése során felvetődik az a kérdés, hogy mikor kell a megmunkáláshoz készülék használatát előírni?

Készüléket kell használni a forgácsoláshoz a következő három esetben:

1. ha a megmunkálás készülék nélkül az adott körülmények között nem hajtható végre,
2. ha a megkívánt pontosság az adott esetben készülék nélkül nem érhető el,
3. ha az egy munkadarabot terhelő gyártási költség készülékkel kisebb, mint készülék használata nélkül.

Az első két követelmény műszaki jellegű és fennállásuk a gazdaságosságra való tekintet nélkül szükségessé teszi készülék használatát. A készülék használatát e két esetben műszaki számítások indokolják. A harmadik esetre gazdaságossági számításokat kell végezni. A gazdaságossági számításoknak sok változatát dolgozták ki. Példaképpen három módszer elvét mutatjuk be. Az első módszer esetében a készülékes és a készülék nélküli gyártás költségeit hasonlítjuk össze egymással.

Egy munkadarabból n darabot kell gyártani. Készülék használata nélkül a munkadarabot B_0 forint munkabéreköltség, készülék használatával B_1 munkabéreköltség terheli. (A költségeket mindig egy munkadarabra vonatkoztatják.) A béreköltségen kívül a gyártást mindkét esetben járulékos költségek (rezszi) is terhelik. Ezek nagysága legyen R_0 , ill. R_1 (Ft).

Készülék használata nélkül a sorozat gyártását terhelő összköltség:

$$\hat{A}_0 = (B_0 + R_0) n = L_0 n,$$

ahol L_0 az egy darabot terhelő költség.

Készülék használatakor a darabot közvetlenül terhelő költségekhez a készülék költségei járulnak. Így a készülékes gyártás költségei:

$$\hat{A}_1 = (B_1 + R_1) n + K_1 = L_1 n + K_1$$

A két költségösszefüggés összehasonlításakor azt kell figyelembe venni, hogy $L_1 < L_0$ (minthogy $B_1 > B_0$), viszont a készülékes gyártást terhelő a K_1 készülékköltség is.

Gazdasági szempontból akkor kell készüléket használni, ha

$$\hat{A}_0 > \hat{A}_1;$$

vagyis a készülék nélküli gyártás költsége nagyobb a készülékes gyártás összköltségénél.

Egy feladat végrehajtására általában több, műszakilag hasonló értékű készüléket lehet tervezni. Ilyenkor felvetődik az a kérdés, hogy melyik használata a célszerű. Az elemzést műszaki és gazdasági oldalról kell elvégezni. Ha a gyártás költsége az egyik készülékkel \hat{A}_1 , a másikkal \hat{A}_2 , akkor érthetően az első készülék használandó, ha $\hat{A}_1 < \hat{A}_2$.

Van egy ún. kritikus darabszám, amelynél a két gyártási költség egyenlő. Néha - határesetekben - ennek a kritikus darabszámnak a meghatározása nyújt segítséget a döntéshez.

A kritikus darabszám esetében $\hat{A}_1 = \hat{A}_2$, vagyis

$$L_1 n_k + K_1 = L_2 n_k + K_2.$$

Ebből:

$$n_k = \frac{K_1 - K_2}{L_2 - L_1}$$

Hasonló módon számítható a készülékes és a készülék nélküli gyártás kritikus darabszáma. Ebben az esetben $K_0 = 0$ és

$$n_{k0} = \frac{K_1}{L_0 - L_1}$$

ahol $L_0 - L_1 = M$, a darabot közvetlenül terhelő költségekben mutatkozó megtakarítás készülékes gyártás esetén.

Készüléket célszerű használni, ha a gyártandó darabszám $n > n_{k0}$.

A gazdaságosság relatív fogalom, általában a relatív gazdaságosságot vizsgáljuk. Ennek az a lényege, hogy több lehetséges változat közül - amelyek mindegyike megfelel a kitűzött műszaki célnak - a gazdaságossági mérlegelés alapján választjuk ki a megfelelőt. Ez általában a készülékek vonatkozásában is érvényesül.

A gazdaságossági számítás alapján tudunk dönteni arról, hogy a vizsgálat tárgyát képező termék, eljárás, termelő vagy gyártóeszköz stb.

- gazdaságos-e,
- milyen gazdasági hatékonyságot lehet vele elérni,
- a szóbajövő változatok közül melyik a leghatékonyabb?

A második módszer szerint egy készülék alkalmazása gazdaságos, ha használati ideje (i) alatt legalább megtérül a készülék beszerzési vagy előállítási költsége (B) az elért megtakarítások (M) révén, vagyis:

$$M \cdot i = B$$

E módszerrel történő számítás helytelen eredményre vezet, mert nem veszik figyelembe, hogy

- az i nagysága korlátozott, maximum 3 év lehet a megtérülési idő;
- a készülék előállítási költségén kívül még használat közben felmerül javítási és karbantartási költség, adott esetben pedig energiaköltség is;
- a készülék költsége, mint forgóeszköz után, eszközkötési járulékot kell befizetni.

A harmadik módszer a fentieket figyelembe veszi és így a gazdaságossági feltétel a következő:

$$M - \frac{B(1 + k + e + p)}{i} \geq 0,$$

- ahol \underline{M} a készülékkel egy év alatt elérhető megtakarítás;
 \underline{B} a készülék beszerzési vagy előállítási költsége;
 \underline{k} a javítás, karbantartás költségének %-a a \underline{B} %-ában;
 \underline{e} az esetleges energiaköltség %-os értéke \underline{B} %-ában;
 \underline{p} a forgóeszközleltési járuléka a \underline{B} %-ában (ez egységesen 5%);
 \underline{i} a készülék élettartama, amely alatt a készülék értékét leírják, (ez maximálisan 3 év lehet).

A képlet szerint a megtakarítások révén a készülék alkalmazásával járó összes költséget fedezzük. Emellett a készülékezés által leggyakrabban emelkedik a termelékenység, és számszerűen nem figyelembe vehető többleteredmények jelentkeznek.

Az azonos műszaki célt megvalósító készülékezési változatok esetében a leggazdaságosabb kiválasztása ugyancsak e képlet alapján történhet.

Az említett módszerek alkalmazhatók az un. kritikus darabszám és a készülékezésre fordítható maximális összeg meghatározására is.

A készülékezés gazdaságossági számításaiiban a legnagyobb nehézséget a készülék költségeinek megállapítása okozza. Ez a probléma fennáll akármelyik számítási mód alkalmazása esetén, mert a munkadarab gyártási technológiájának kidolgozási időpontjában az egyes műveletekhez elképzelt készülékek műszaki adatai, formája, nagysága, működése csak nagy vonalakban ismert.

Ezekből az adatokból hagyományos előkalkulációt nem lehet készíteni, azonban mégis szükséges a becslésen túl valamely konkrét adatokból kiindulva meghatározni az elképzelt készülék költségét, majd a gazdaságosságát. Ilyen célra alkalmas a KGM Ipargazdasági és Üzemszervezési Intézet módszere, amely a készülék költségét és a gazdaságosságot már a technológizálás időpontjában megállapíthatóvá teszi. Ez azért előnyös, mert ezáltal megtakarítható az esetleges gazdaságtalannak mutatkozó készülék gyártási költségein túl a szerkesztés ideje és költsége.

Pontosabb eredményt kapunk akkor, ha a gazdaságossági számítást akkor végezzük el, amikor a szerkesztő a készülék összeállítási rajzát már elkészítette és bemutatta a technológusoknak. Az összeállítási rajz alapján pontosan ismeretesek azok a - továbbiakban ismertetésre kerülő - tényezők, melyek birtokában pontosabban lehet a készülék önköltségét meghatározni, gazdaságosságát elbírálni.

Ha ekkor derül ki, hogy a készülék nem gazdaságos, akkor még mindig csak a szerkesztői munka egy része vész kárba, de megtakarítható a részletszerkesztés, a további műszaki előkészítés és a gyártás ideje és költsége.