

## 13.1. Kéregedzés

*Indukciós edzés, lángedzés, bemártó edzés*

A gépalkatrészek között sok olyan van, amelynek igénybevétele az alkatrész egészének szívósságát és a felülete egy részének kopásálló keménységét követeli meg. A kemény kéreg vastagsága legtöbbször 0,1—2 mm között változik. Ebben az esetben alkalmazzák a felületi keményítő eljárásokat, amelyek fajai: a kéregedzés, betétedzés és a nitridálás.

A gépalkatrész nagy mag szívóssága mellett annak helyi kéregkeménységét a *kéregedzés* eljárásával úgy érik el, hogy a teljes tömegében szívósra hőkezelt, nemesített alkatrész kérgesítendő felületi rétegét oly gyorsan hevítik az edzés hőmérsékletére és hűtik le kritikus sebességgel, hogy a hő nem tud befelé hatolni, és így a kéreg keményre edződése közben a mag megőrzi szívósságát.

Ilyen kéreghevítéssel végzett kéregedzésre alkalmas minden edzhető, illetve nemesíthető acélfajta, de felhasználják ezt az eljárást szürkevas alkatrészek helyi felületi keményítésére is, pl. szerszámgépek szán- és asztalvezető prizmaínál. A különösen alkalmas acélfajták adatait az MSZ 17 782-57 tartalmazza.

A vékony kéregnek nagyon rövid ideig tartó hevítéssel kell elérni az  $A_{c3}$ -nál nagyobb hőmérsékletet, és nem sokkal ezután meg kell indítani a hűtést. Így az austenitné váló átalakulásra csak 0,5-től néhány másodpercnyi idő van. A kéregedzés sikere azt követeli meg, hogy az  $\alpha$ - $\gamma$  átalakulás és ötvözött acéloknál a karbidok oldása ilyen rövid idő alatt is minél teljesebben végbemenjen. Mivel ehhez a kiindulási állapotban található karbidok megbontása és a felszabadult C és fémek elemeknek az austenitben való oldódása szükséges és mindez csak a diffúzió közvetítésével történhet, mind a karbidbomlás, mind a diffúzió időszükségletét csökkenteni kell. A karbidbomlás és a diffúziós sebesség növelését egyaránt elérhetjük a hőmérséklet növelésével. *A kéregedzés hevítési hőmérséklete jóval nagyobb, mint az edzés hőmérséklete.* Az austenit szemcsék eldurvulását azzal kerülik el, hogy a megfelelő nagy hőmérséklet gyors elérése után a hőközlést beszüntetik, sőt a felhevített réteget azonnal le is hűtik.

A rövid hevítési idő alatt a szükséges diffúzió lefolyását azzal biztosítják, hogy a diffúzió útját csökkentik a lehető legkisebbre. Ennek az a módja, hogy a kéregedzés

előtt az acélt olyan előkészítő hőkezelésnek vetik alá, amely szerkezetét finomítja. Ilyen hőkezelések az előző fejezetben tárgyalt szívósságfokozó hőkezelések. Azok alkalmazásával két célt érnek el: az acél szívóssága növekszik és a kérgében a fázisok finomításával a diffúziós utak csökkennek. Legalkalmasabb előkészítő hőkezelés a nemesítés.

Az ilyen kéreghevítéssel végzett kéregedzés és a vele összefüggő műveletek sorrendje:

Nagyoló megmunkálás.

Nemesítés.

Készremunkálás köszörülési ráhagyásig.

Gyors hevítés a kéregmélység szerint.

Hűtés vízzuhannyal, vagy hűtőközegbe való mártással.

Megeresztés 150–200 °C-ra.

Keménységellenőrzés (10 kp-os vagy még kisebb terhelésű Vickers-keménységméréssel).

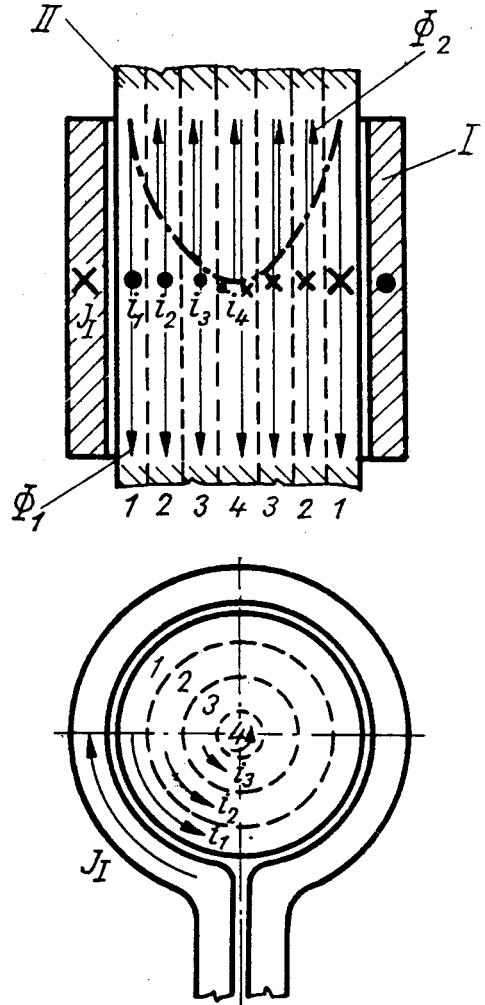
Köszörülés.

Az edzendő kéreg vékony anyagrétegével való lökészerű hőközlés módszere szerint a kéreghevítéssel végzett kéregedzésnek 3 eljárása alakult ki: az indukciós kéregedzés, a lángedzés és a bemártó edzés. Kevésbé használt eljárás még a villamos ellenálláshevítés (Gevelin-féle kontakthevítés).

*Indukciós edzés.* Az indukciós hevítés elvét a 221. ábra mutatja. Egy tekercsbe (I) vezetett váltakozóáram mágneses erőtere a tekercsbe helyezett acélrúd (II) felületi rétegében örvényáramot kelt, amelynek Joule-melege a hővé alakuló hiszterézisveszteséggel együtt a réteget hevíti. Az indukált áram sűrűsége a felülettől a rúd belseje felé exponenciálisan csökken. Ezt az örvényáram-sűrűség eloszlást a 221. ábra

kapcsán a következő egyszerűsített szemlélettel érzékelhetjük: Ha az I jelű egyenletes tekercsben keringő áram egyenáram, akkor az a belé helyezett II acélrúd darabban a nagyjában egyenletes  $\Phi_1$  mágneses fluxust kelti. Ha az I tekercsben folyó  $J_1$  primer áram váltakozó áram, akkor az a II vasmagban olyan örvényáramokat kelt, melyek az  $J_1$  áram  $\Phi_1$  fluxusát megszüntetni iparkodnak.

A II rúd belsejében keletkező örvényáramok eloszlásának érzékelésére osszuk fel képzeletben a II vasmagot a szaggatott vonalakkal jelzett 1–3 gyűrű és 4 hengeres



221. ábra. Az indukciós hevítés elve. I. a primér áramkör rézgyűrűje, II. hevítendő acélrúd,  $J_1$  a primer áram erőssége,  $i_1, i_2, i_3, i_4 \approx 0$  örvényáram-sűrűsége,  $\Phi_1$  az  $J_1$  áram fluxusa,  $\Phi_2$  az örvényáramok fluxusa

részekre és tekintsük ezeket különálló vezetőknek. Az  $J_T$  váltakozó áram által a vezető részekben keltett  $i_1, i_2, i_3$  és  $i_4$  örvényáramok iránya bármely pillanatban ellenkező az  $J_T$  áram pillanatnyi irányával. Ezek az örvényáramok ugyancsak váltakozó áramok, amelyek a  $\Phi_2$  fluxust keltik. Ez a fluxus már nem egyenletes, hanem legnagyobb a 4. rúdrészben, mert ezt  $i_1, i_2, i_3$  együttesen kelti. A 3. gyűrűben már kisebb, mert ezt csak az  $i_1$  és  $i_2$  öleli körül, még kisebb a 2. részben, mert itt csak az  $i_1$  hat. A  $\Phi_1$  fluxust csökkentő  $\Phi_2$  fluxus tehát a 221. ábrában jelölt eredményvonal szerint oszlik meg. Az eredő fluxus  $\Phi_1 - \Phi_2$  ugyancsak az eredményvonallal jelölt homorú eloszlást mutatja, tehát legnagyobb a II rúd palástján. Ugyanilyen eloszlást mutat az örvényáram sűrűsége is, tehát ez is a legnagyobb a palásfelületen.

Az örvényáramok a rudat

$$W = \eta 0,24 i^2 r \quad (39)$$

kalória bevezetésével hevítik.  $\eta$  a hatásfok,  $i$  az örvényáram erőssége,  $r$  a rúd anyagának villamos ellenállása. A rúdban keltett meleg, és így annak hőmérséklete is a paláston a legnagyobb.

Az áram behatolási mélysége ( $\delta$ ) alatt értjük a felülettől sugárirányban mért azt a távolságot, amelynél az indukált áram sűrűsége a felületinek  $\frac{1}{e}$ -szeresére (ahol  $e = 2,718$ ), azaz 36,87%-ára csökken. Az üzemi gyakorlat számára megfelelő pontosságú *Lozinszkij* egyszerűsített képlete:

$$\delta = 503 \sqrt{\frac{\rho}{\mu f}} \quad (\text{mm}), \quad (40)$$

ahol  $\delta$  az áram behatolási mélysége (mm);  $\rho$  az acél fajlagos ellenállása ( $\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ );  $\mu$  az acél mágneses permeabilitása;  $f$  az áram frekvenciája (Hz).

Az induktív kéregedzésnél annál kisebb az árambehatolás és ezzel együtt a hevítés mélysége, minél nagyobb az áram frekvenciája.

A használatos frekvenciák: középfrekvencia 200–10 000 Hz, nagyfrekvencia 100 kHz\*–10 MHz. A középfrekvenciás áramokat motorgenerátorokkal állítják elő, amelyeknek teljesítményhatárai 50–12 000 kW, frekvenciahatárai 200–10 000 Hz. Nagyfrekvenciás kéregedzésre elektroncsöves generátorokat használnak, amelyek teljesítményhatárai: 5–100 kW, frekvenciahatárai: 100–1000 kHz. Kéregedzésre 2500–10 000 Hz frekvenciát akkor használnak, ha 2–3 mm-nél vastagabb az edzendő kéreg. Európában a 400–500 kHz frekvenciás elektroncsöves generátorok használatosak 0,2–2 mm edzett kéreg előállítására.

Az edzett kéreg vastagsága az áram behatolási mélységén kívül függ még a hevítés fajlagos teljesítményétől ( $\text{W}/\text{cm}^2$ ), az acél hővezetőképességétől és az indukció

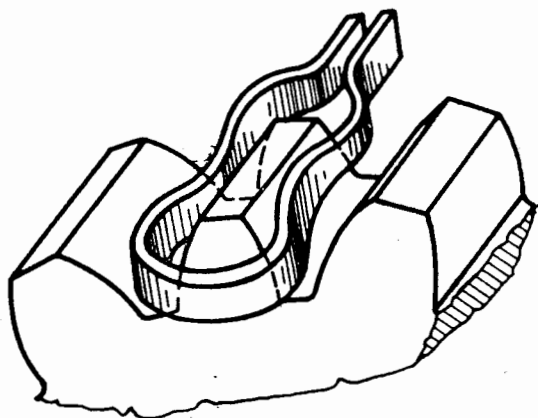
\* kHz = kilo Herz = 1000/s, MHz = mega Herz = 1 000 000/s.

időtartamától. Üzemben gyakran ugyanazzal a frekvenciával kell edzeni. Középfrekvenciánál elég, ha a képletből számított frekvenciát  $\pm 1000$  Hz, nagyfrekvenciánál elég, ha  $\pm 100\ 000$  Hz értékkel közelítjük meg.

Egész vékony, tized mm nagyságrendű kérget csak nagyfrekvenciával, nagy fajlagos teljesítménnyel és igen rövid behatási idővel lehet edzeni. Itt az edző művelet automatizálása elkerülhetetlen. Ez azonban egyúttal biztosítja nagy termelékenységét is.

A közép- vagy nagyfrekvenciás árammal táplált egy- vagy többmenetű tekercset, amely a hevítés mágneses mezejét létesíti, *induktor*-nak hívják. Az indukciós edzés főbb módszerei:

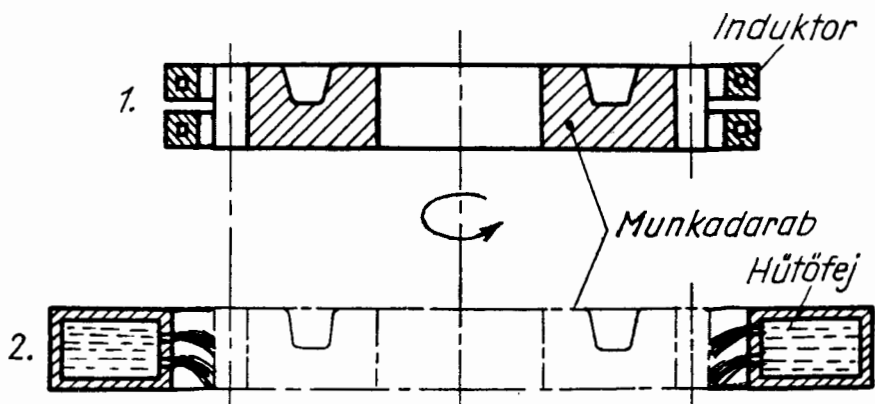
*Álló szakaszos edzés*, amelyet pl. az 5 modulusúnál nagyobb fogaskerek fogankénti edzésére használnak (222. ábra). A hajtú alakú induktor az edzendő két fogoldal teljes felületét felhevíti az első szakaszban. A második szakaszban a fog a hűtőfolyadékba merül vagy zuhany hűti le. A légrést a saroknál növelik, hogy a sarokélek túlhevülését elkerüljék.



222. ábra. Nagy modulú fogaskerék fogainak álló szakaszos edzése

*Forgó szakaszos edzés*, amelyet forgattyústengely csapjainak, tárcsa alakú alkatrészek palástfelületének és a 4-nél kisebb modulusú fogaskerek edzésére használnak (223. ábra). Az induktor az egész palástfelületet, illetve fogkoszorút egyszerre hevíti, mialatt a tárcsa legalább ötször fordul meg tengelye körül az induktor excentricitásából adódó egyenlőtlen hevítés kiegyenlítésére. A második szakaszban a tárgy a hűtőközegbe vagy zuhanyfürdő alá merül.

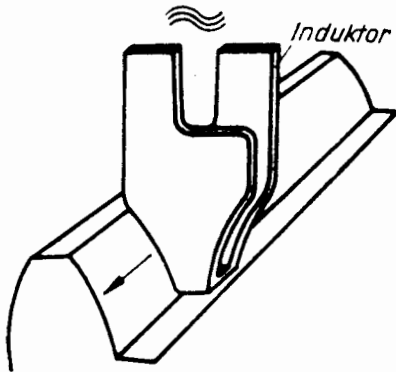
*Haladó folyamatos edzésnél* az induktor a hevítendő felületnek csak egy kis csíkját hevíti, és a tárgy relatív elmozdulása közben a hurok, vagy hajtú alakú induktort közvetlen követő vizzuhany a folyamatos edzést végzi. Így edzik az egész nagy fogak oldalait (224. ábra) és a szerszámgépek szánvezető léceit és prizmáit.



223. ábra. Fogaskerék forgó szakaszos indukciós edzése: 1. hevítés, 2. hűtés szakasza

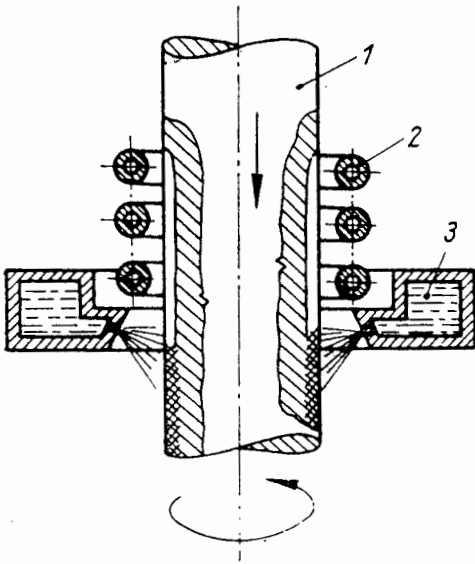
*Haladó-forgó folyamatos edzés* hosszabb hengeres felületek edzésére a 225. ábra szerint.

Az indukciós kéregedzés az összes felületi edzések között a leggyorsabb kéreghevítést adja, mert a hő magában a kéregben keletkezik. A nagyfrekvencia a legvékonyabb, század mm nagyságrendű edzett kéreg elérését is lehetővé teszi. Ezért a tömeggyártás gyártási sorrendjébe való iktatása lehetséges és célszerű. Berendezése költséges, minden alak és méret külön induktort kíván. Ez is arra mutat, hogy alkalmazásának gazdaságossága tömeggyártást feltételez. Jellemzője még, hogy a legnagyobb termelékenységet teszi lehetővé.

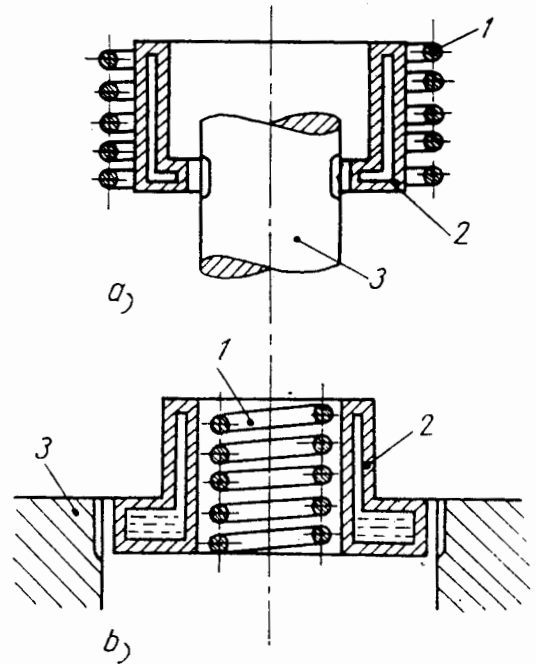


224. ábra. Haladó folyamatos indukciós edzés induktora (hajtúinduktor) fogaskerék fogdalankénti edzéséhez

Egy adott teljesítményű berendezésnél a fajlagos teljesítményt ( $W/cm^2$ ) növelhetjük, ha a többmenetű induktor és a munkadarab közé egymenetű indukáló közvetítő elemet, ún. *koncentrátort* iktatunk (226. ábra). Itt kettős indukció és energiaátalakítás történik: a primer és a szekunder tekercs között, melynek hatásfoka  $\eta_I$ , a szekunder tekercs és a munkadarab közt ( $\eta_{II}$ ). Az összhathatásfok  $\eta_I \cdot \eta_{II}$  20—40% közt lehet. Az indukciós edzés hevítésénél koncentrátossal elérhető fajlagos teljesítmény 10 000  $W/cm^2$ -nél nagyobb is lehet.

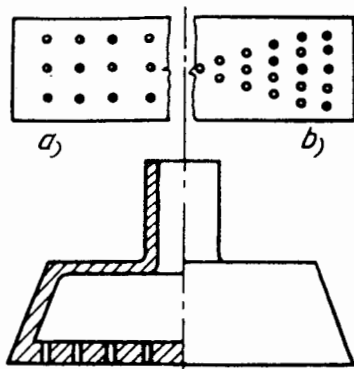


225. ábra. Haladó-forgó folyamatos indukciós edzés. 1. munkadarab, 2. induktor, 3. hűtőfej

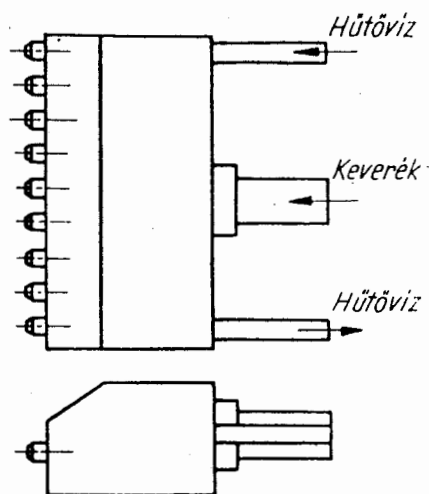


226. ábra. Nagyfrekvenciás hevítő koncentrátorkok: a) tengelyek, b) furatok edzésére. 1. primer tekercs, 2. szekunder egymenetű tekercs, 3. munkadarab

**Lángedzés.** Kéregedzéskor a felületi réteg lökészerű felhevítésére alkalmazzák még az acetilén-oxigén vagy világítógáz-oxigén gázkeverék szúrólángját. Az ilyen szúrólánghevítéssel dolgozó kéregedzést lángedzésnek hívják. Az éghető gázt és oxigént olyan arányban keverik, hogy a keletkezett láng inkább enyhén oxidáló

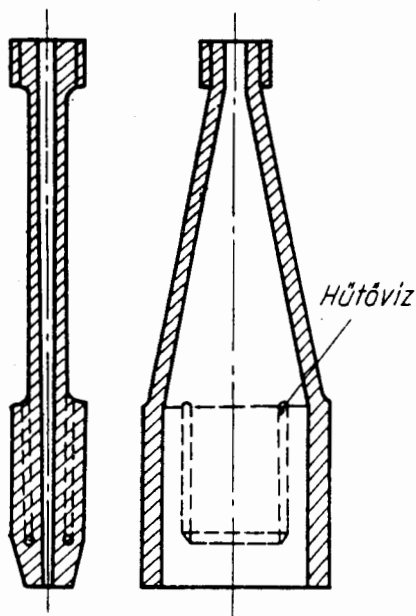


227. ábra. Furatos égő síkfelületek lángedzésére. a) egyenletes, b) a szélek felé növekvő lángteljesítményre



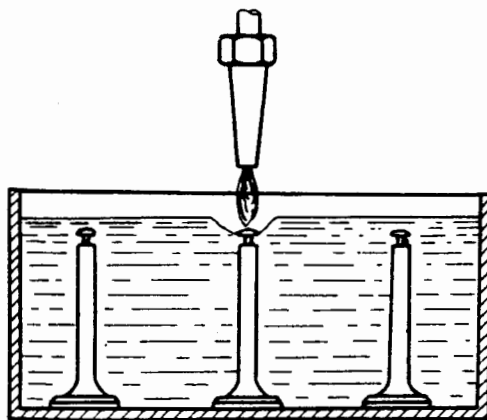
228. ábra. Fúvókás égő

legyen. A hevítő láng előállítására nagy teljesítményű égőfejeket használnak, amelyeket a robbanásveszély elhárítására a biztonsági előírások gondos betartásával telepített éghető gáz- és oxigénpalack-telepekről látják el gázzal két-két nyomáscsökkentő szelepen át. Az égőfejek jellegzetes típusai: kézi gázhegesztő pisztoly; a furatos égő egy, két vagy több lyuksorral (227. ábra), a fúvókás égő (228. ábra) és a réségő (229. ábra). A többsoros furatos égőt

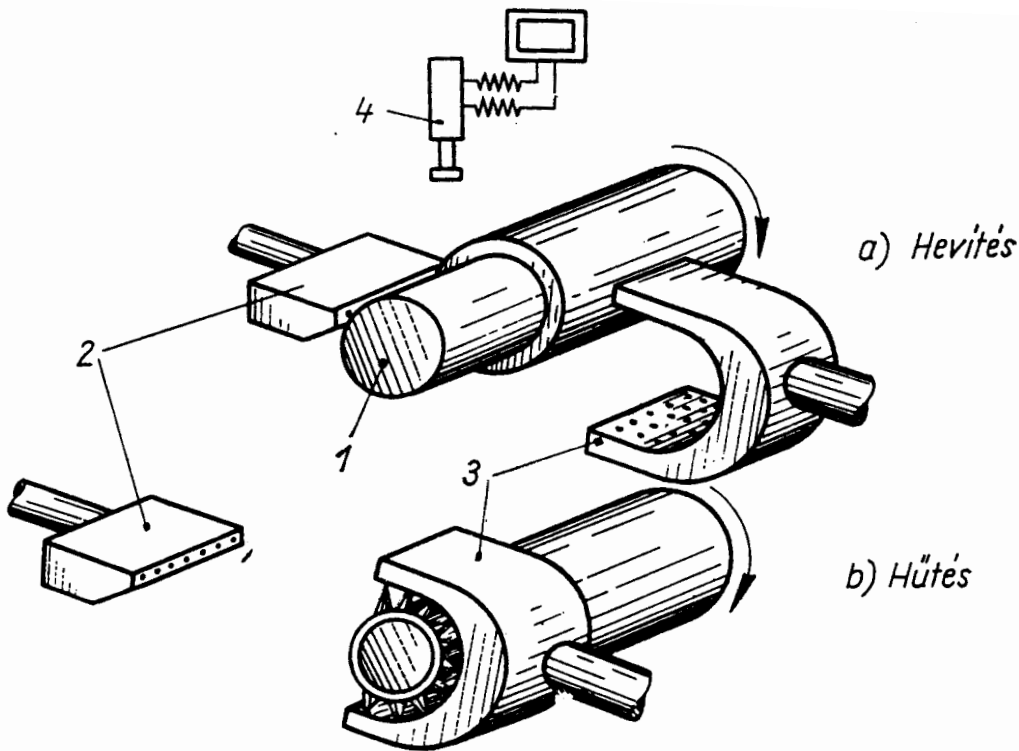


229. ábra. Vízhűtéses réségő

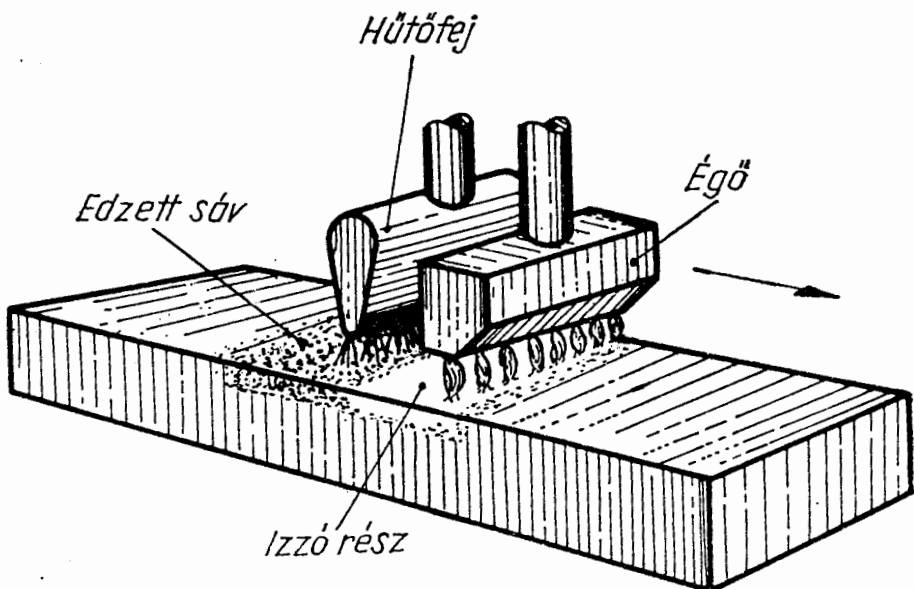
legyen. A hevítő láng előállítására nagy teljesítményű égőfejeket használnak, amelyeket a robbanásveszély elhárítására a biztonsági előírások gondos betartásával telepített éghető gáz- és oxigénpalack-telepekről látják el gázzal két-két nyomáscsökkentő szelepen át. Az égőfejek jellegzetes típusai: kézi gázhegesztő pisztoly; a furatos égő egy, két vagy több lyuksorral (227. ábra), a fúvókás égő (228. ábra) és a réségő (229. ábra). A többsoros furatos égőt



230. ábra. Szelepvégek álló szakaszos lángedzése gázhegesztőpisztollyal



231. ábra. Tengelycsapok forgó szakaszos edzése. 1. az edzendő csap, 2. fúvókás égő, 3. vízuhanyos hűtőfej, 4. pirométer

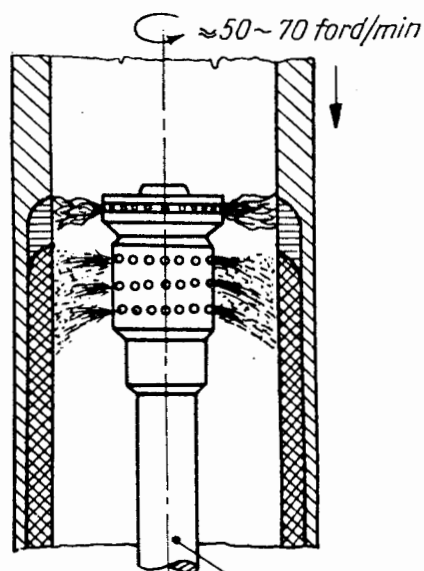


232. ábra. Sík felület haladó folyamatos lángedzése

szitaégőnek hívják. Ez esetben lyukainak osztását a felülrészek hevítéséhez szükséges teljesítmény szerint szabályozzák, amint azt a 227. ábra b) oldala mutatja. Ezt a furatozást alkalmazzák akkor, ha a hevítendő darabhoz nagy tömegű részek csatlakoznak. A világítógázzal működő égőket általában csak akkor hűtik, ha zárt üregek, furatok belső felületének edzésére valók. Az acetilénégőket azonban a lángvisszacsapás veszélye miatt mindig hűtik hűtővíz keringtetéssel.

A lángedzés főbb módszerei az indukciós edzésével azonosak. Álló szakaszos edzéssel keményítik a szelepvégeket (230. ábra). Forgó szakaszos edzéssel keményítik a tengelycsapokat (231. ábra). Haladó folyamatos edzést sík felületek (232. ábra) vagy szánvezetékek edzésére használnak. A haladó-forgó folyamatos edzésre példa a perselyek belső palástjának lángedzése az ún. gombafejes égővel (233. ábra).

A lángedzés hevítési szakaszában arról kell gondoskodni, hogy a láng besabályozása a tiszta semleges lángtól az oxidáló láng irányában térjen el egy kissé. Az acetilén-oxigén keveréknél a semleges lánghoz szükséges gázkeverékben a két gáz térfogataránya:  $C_2H_2 : O_2 = 1 : 1,16$ . A lángedzésnél jobb a  $C_2H_2 : O_2 = 1 : 1,5$  keverési arány. A hevítendő felületet az éles lángmag csúcsától 2–3 mm távolságban kell tartani, mert az a láng legnagyobb hőmérsékletű helye. A hevítés sebessége függ a láng hőmérsékletétől és az időegységben elégetett gáz mennyiségétől, tehát az égő teljesítményétől. A lángedzésnél használt fűtőgázok néhány jellegzetes tulajdonságát a 16. táblázat



233. ábra. Furatok lángedzése gombafejes égővel

16. táblázat

A lángedzés fűtőgázainak jellegzetes tulajdonságai

Gáz	Láng hőmérséklete °C	Fűtőérték kcal/m <sup>3</sup>	Gyulladási		Robbanó keverék gáz-tartalom határai %	Fajsúly kp/m <sup>2</sup>
			hőmérséklet °C	sebesség m/s		
Acetilén C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	3100	13,600	335	1,13	2,5 – 80	1,170
Világítógáz	2800	3500 – 5000	–	–	8,0 – 22	0,549
Propán C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	2750	22,350	510	0,26	2,3 – 9,5	2,019
Bután C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	2600	29,510	475	0,25	1,9 – 8,4	2,703



tartalmazza. Nagyobb láng hőmérséklete és fűtőértéke miatt az acetilén a világító-gázt felülmúlja, de kis gyulladási hőmérséklete, nagy gyulladási sebessége és robbanásveszélye miatt erős versenytársa a világító-gáz.

A lángedzésnél a hő sugárzás és vezetés útján adódik át az edzendő kéregnek. A hőközlés tehát lassúbb, mint az indukciós edzésnél. A felületegységre eső teljesítmény nem haladja meg az  $1000 \text{ W/cm}^2$ -t, tehát az indukciós edzésnél elérhető teljesítmény egy tizedét. Ezért az elérhető *legvékonyabb kéreg* nagyobb: mint az indukciós edzésnél,  $1,5 \text{ mm}$ . Az átmenet a kéreg és a mag között viszont enyhébb.

A lángedzés előnye, hogy nem igényel nagy beruházást, és így kisebb sorozatnál is gazdaságos. Rugalmasabban használható, mint az indukciós edzés, de szabályozási lehetőségei kisebbek.

*Bemártó edzés.* A munkadarab felületi rétegének lökészerű felhevítését úgy is lehet végezni, hogy a kérgesítendő részét olyan só-, vagy fémfürdőbe mártják, amelynek hőmérséklete jóval, legalább  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ -szal nagyobb, mint az edzendő acél  $A_{c_3}$  hőmérséklete. A kéregedzésnek ilyen módját bemártó edzésnek nevezik.

A hevítőfürdők fém- vagy sófürdők. Használatos hőmérséklet határok:  $1000\text{—}1300 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Fémfürdők:	öntöttvas	$1200 \text{ }^\circ\text{C}$ felett
	ónbronz	$1000 \text{ }^\circ\text{C}$ felett
Sófürdők:	$\text{BaCl}_2$	$950 \text{ }^\circ\text{C}\text{—}1200 \text{ }^\circ\text{C}$
	$\text{BaCl}_2 + \text{KCl}$	$900 \text{ }^\circ\text{C}\text{—}1100 \text{ }^\circ\text{C}$ .

A bronzfürdő fajsúlya nagyobb lehet, mint a munkadarabé, azért ezt a hevítés alatt be kell nyomni a fürdőbe. A fémfürdő jobb hőátadó, de a ráfagyott maradék hátrányos.

A sófürdőbe a tárgyak bemelegülnek. Hátrányuk, hogy az acél felületét esetleg korrodálják és a  $\text{BaCl}_2$  dekarbonizálja. Ezáltal keletkezett bárium-karbonát a darabra tapadva edzésnél lágyfoltosságot okozhat. A fürdő karbonattartalmát üzem közben gyakran ellenőrizni kell. A sófürdős kemencék előnye, hogy villamos ellenállásfűtéssel hevíthetők, és közben élénk mozgásba jönnek. Hatásfokuk jó.

A hevítőfürdőnek olyan tömegűnek kell lennie, hogy a bemártott hideg munkadarab hatására be ne fagyjon. Ennek elkerülésére a darabot néha előmelegítik. Egy adott tömegű sófürdőben hevíthető acél munkadarab tömegét a sófürdő hőmérsékletének megengedett csökkenése korlátozza. A hevítendő munkadarab legnagyobb tömege a következő egyenletből számítható:

$$G_a \cdot c_a \cdot t_a = G_{s_0} \cdot c_{s_0} \cdot \Delta t_{s_0}, \quad (41)$$

ahol  $G_a$  a munkadarab,  $G_{s_0}$  a sófürdő tömege (kg),  $c_a$  a munkadarab,  $c_{s_0}$  a sófürdő fajhője ( $\text{kcal/kg } ^\circ\text{C}$ ),  $t_a$  a munkadarab hőmérséklete ( $^\circ\text{C}$ ),  $\Delta t_{s_0}$  a sófürdő hőmérsékletének megengedett csökkenése ( $^\circ\text{C}$ ).

Leggyakrabban 50 °C hőmérséklet-csökkenést engednek meg. Ekkor a  $G_{s0}$  tömegű fürdőben kezelhető legnagyobb acélmunkadarab tömege:

$$G_a = \frac{50 \cdot G_{s0} \cdot c_{s0}}{c_a \cdot t_a} \quad (42)$$

A gyakorlatban használatos bemártási időkről különböző fürdők használatánál tájékoztat a 234. ábra.

A bemártó edzés korlátozza ugyan a darab-súlyt, de korlátlan szabadságot ad a darab alakjának. Ez a legnagyobb előnye és ez jelöli ki alkalmazási helyét: térgörbe felületek, kúpok, golyók stb. kérgesítése.

### 13.2. Betétedzés

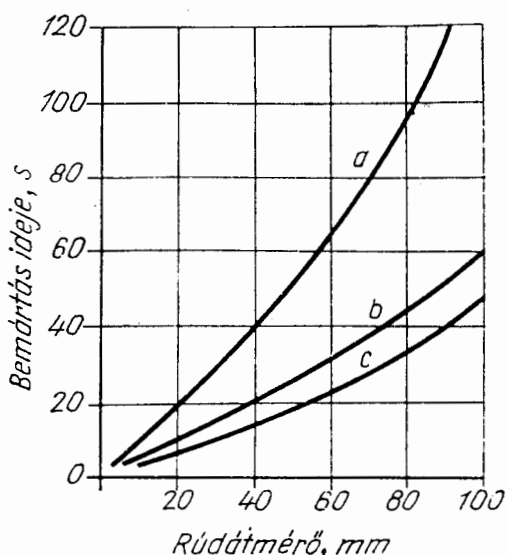
A betétedzés célja ugyanaz, mint a kéreg-edzése: szívós magú és kopásálló, kemény kérgű acélmunkadarabok előállítása.

Alkalmazása régebbi keletű, mint a kéreg-edző eljárásoké. Lényege az a megfigyelés, hogy a 0,2%-nál kisebb C-tartalmú acél martensites edzés után sem sokkal keményebb HRC = 32-, (HV = 330 kp/mm<sup>2</sup>)-nél. A 20 mm-nél nagyobb átmérőjű rúd belsejében azonban a folyamatos hűtésű edzésnél ennél jóval kisebb keménységű, túlnyomórészt ferrit, perlit, bainit és csak kevés martensitet tartalmazó szövetszerkezet alakul ki, melynek átlag keménysége HV = 300 kp/mm<sup>2</sup>-től 200 kp/mm<sup>2</sup>-ig változhat.

Ha 0,1–0,2% C-tartalmú acélt atomos szén leadó közegben izzítunk, akkor a 9.3. pont szerint a lágyacél felületi rétegébe a C-atomok beötvöződnek és annak C-tartalmát a hőmérséklet és az idő függvényében növekvő súlyszázalékú C-nal dúsítják. Ez a bekötődött C a koncentráció-különbség mozgató ereje hatására az idővel növekvő mélységbe diffundál. A C-nal dúsított réteg a 0,6% C-tartalom elérése után már 60 HRC keménységűre edzhető. Ez a kérget legnagyobb keménységűvé alakító edzés a C-nal nem dúsított anyagrészt nem keményíti 300 kp/mm<sup>2</sup>-nél nagyobb keménységűre, de  $A_{c3}$  hőmérsékletéről való edzésnél szemcséit finomítja, szívósságát növeli.

A betétedzés legalább 3 hőkezelési eljárást foglal magában:

A kis C-tartalmú acél felületi rétegének C-nal való dúsítása, az ún. *cementálás*. Ez az aktív C-t leadó közegbe helyezett acéltárgynak nagy, 850–950 °C hőmérsékleten 1–3 mm kéregmélység elérésére 8–24 órás izzítását igényli.



234. ábra. A bemártás időtartamának függése a darabátmérőtől különböző fürdők-nél: a) 1100 °C-os BaCl + KCl fürdő; b) 1200 °C-os öntöttvas fürdő; c) 110 °C-os ónbronzz fürdő (Ruhfus H)

A kéreg C-tartalmának megfelelő edzés.

Megeresztés 200 °C-on.

Betétedzésre 0,2%-nál kisebb C-tartalmú ötvözetlen és rendszeren még kevesebb C-t tartalmazó ötvözött acélok alkalmasak. Ezek az ún. *betétben edzhető acélok*, amelyek külön szabványokba vannak foglalva.

A C-nal dúsított, cementált kéreg C-tartalma, vastagsága, a szívós magba való átmenet minősége, az acél és a cementálóközeg minőségétől, a cementálás hőmérsékletétől és a dúsítás folyamatának szabályozásától függ. A C-tartalom a kéregben akkor a legjobb, ha 0,6—0,9% határok között van. Ezt az ideális esetet a gyakorlatban csak egész vékony, 0,5—0,6 mm vastag réteg dúsításánál tudjuk biztosítani. Többnyire elfogadható még a gyakorlatban a cementálás, ha a kéreg C-tartalma 1,1% alatt marad. Ennél nagyobbbat diffúziós izzítással csökkenteni kell.

### 13.3. A cementálás közegei és eljárásai

A C-nal való dúsítás végezhető szilárd, folyékony vagy gáznemű közegben.

Legrégibb eljárás a szilárd cementáló szerben való dúsítás. Ennél a dúsítandó munkadarabokat a lehető legtömörebben kell hőálló dobozokban a darafinomságú cementáló közegbe csomagolni. A felületek között kb. 10 mm vastag cementáló dararéteg, a doboz fenekén, oldalán és tetején 15 mm legyen. A csomagolást zárótömítés kövesse. A cementáló doboz fedelét agyaggal tapasztják körül. A cementáló szer C-t leadó közege faszén vagy bőrszén. Mindkettőt aktiváló szerrel kell keverni. E célra a bárium-karbonát vált be, amelyet egyéb anyagokkal együtt ragasztóanyaggal kötnek a faszénhez, és az így képzett gyurmából állítják elő a cementáló darát. Egy ilyen szilárd cementálószer összetétele pl.: 74—78% faszén, 12—15% BaCO<sub>3</sub>, 1—1,5% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, 3—5% CaCO<sub>3</sub>, 4,5—5% pakura vagy melasz. Megengedett szennyezés: 0,1% S, 0,5% SiO<sub>2</sub>.

A jól készített faszénbázisú cementáló szer gyorsan hat, a bőrszénbázisú viszont lassan. Vékony kérget gyorsan ható, vastag kérget lassan ható szerben dúsítanak.

A hőmérséklet növelése gyorsítja a C-atomoknak a mag felé való szivárgását, az acél ötvözői csökkentik azt. Ezért ötvözött acélt, főleg krómötvözésűt, nem szabad gyorsan ható szerben, és kis hőmérsékleten cementálni, hanem lassan ható szerben nagy hőmérsékleten.

A cementálás hőmérséklet-határai: 850—950 °C. Az esetleg keletkezett karbidhálót semleges közegben való diffúziós izzítással oszlatják el (950 °C, fél óra).

A szilárd közegben való cementálásnál az óránként elérhető rétegnövekedés 0,1—0,15 mm-nek vehető. Az egyszer használt közegből a port kiszítálva 10% friss cementáló dara hozzáadásával azt újból fel lehet használni.

*Ciáncementálás* vagy cianidálás néven ismerik a folyékony közegben való cementálást.

Az itt használt fürdő összetétele: 85% NaCN, 10% Na<sub>2</sub>CO<sub>2</sub>, 2% NaCNO, 1% NaCl. A cinánfürdő szokásos hőmérséklete 830–860 °C. Az első órában 0,2–0,3 mm vastag kéreg dúsul C-ban, azontúl óránként közelítőleg 0,1 mm-rel növekszik a kéreg. Az ipari gyakorlatban csak egy óra hosszat szoktak ciáncementálni.

A ciánfürdő hevítési sebessége négyszerese a kemence gázatmoszférájában elérhetőnek. Ezenkívül a cementálás közben végbemenő reakciósorozatban nemcsak aktív atomos C, hanem atomos nitrogén is keletkezik, amely az acél kérgében nitrideket képez, és így növeli az edzett kéreg keménységét és kopásállóságát.

A cianidálás sebessége gyorsítható kisebb koncentrációjú fürdőben nagyobb hőmérsékleten való tartással. Az ilyen gyors cianidálásnál a ciánsó összetétele: 50% NaCN, 35% BaCl, 15% NaCl. Egy másik fürdőé: 40–50% NaCN, 15–20% NaCO<sub>3</sub>, 25–30% NaCl. Hőmérséklete 900 °C. Az ilyen nagy hőmérsékleten a nátrium-cianid (NaCN) gyorsan oxidálódik. Ezt a sófürdő felületére szórt pehelygrafit réteggel akadályozzák meg. A gyors cianidálásnál a kéreg az első óra után 0,5 mm, a második után 0,8 mm.

A cianidálás előnye, hogy a kéreg csak 0,6–0,7% C-tartalomig dúsul, tehát nincs karbidháló.

A cianidálást főként apró tömegcikkék cementálására alkalmazzák. A darabokat huzalra fűzve, állványra tűzve, vagy dróthálóból készült kosárba rakva süllyesztenek a ciánfürdőbe. Utóbbi esetben a kosarat többször megrázzák.

*Gázcementálásnak nevezik a gáznemű közegben végzett cementálást.*

Éppúgy, mint a cianidálásnak, ennek is előnye a szilárd közegben való dúsításhoz képest, hogy nem kell hozzá dobozba csomagolás és így a hőkezelés határfoka jobb, de kisebb a cianidáláshoz képest.

Alkalmas gázok: CO, CH<sub>4</sub> (metán), C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> (propán), C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> (bután), valamint elgázosított pirobenzol vagy tisztított kőolaj (petróleum). Nagy teljesítményű, rendszeren folytonos üzemű cementáló kemencék cementáló gázkeverékét alapgázból és cementáló gázadalékból állítják elő. Az alapgázt metán elégetésével állítják elő úgy, hogy a keletkezett CO + CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub> + N<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O-ból kivonják a CO<sub>2</sub>-t és kifagyasztják a H<sub>2</sub>O-t. Az ilyen alapgázhoz C-nal dúsító gázként metánt vagy butánt kevernek. A keverék %-os metántartalmát a cementálás hőmérsékletén meginduló koromképződés korlátozza.

Mindhárom cementáló közegben a cementálás az alábbi két egyenlet szerint történik:



Szakaszosan működő gázcementáló kemencék legalkalmasabb cementáló gázközege a kemence kettős fala közé csöpögtetett tisztított kőolaj, amely a kemence

zárt térben elgázosodik. Ezt a gázt ventilátor hajtja a berakott darabok közé. A dúsítás mérvét az időegységben adagolt cseppekkel jól lehet szabályozni. Ezért itt jól elvégezhető a semleges atmoszférában való diffúziós izzítás is:

A gázcementálással a cementálás folyamatát a legrugalmasabban lehet szabályozni. Folytonos üzemű csatorna- vagy alagútkemencékben a kocsira rétegezett cementálendő áru három hőszakaszon vonul át. Az első szakasz az előmelegítő szakasz. Ennek hőmérséklete  $850^{\circ}\text{C}$ , gázkeveréke metánban szegény. A második a cementáló szakasz  $900^{\circ}\text{C}$  hőmérséklettel és metántartalmú cementáló gázkeverékkel. A harmadik a diffúziós szakasz az esetleg keletkezett karbidháló eloszlására. Ennek hőmérséklete  $950^{\circ}\text{C}$ , gázkeveréke semleges: oxidálódást és C-csökkenést megakadályozó védőgáz.

A kisebb teljesítményű, szakaszos üzemű aknás gázcementáló kemencékben fenti szakaszokat egymás után állíthatjuk elő a becsepegtetett pirobenzol vagy kőolaj percenkénti cseppszámának szabályozásával (pl. 140—200 csepp/perc).

*A nitrocementálás, vagy karbonitrálás a gázközegben való cementálás legprogresszívabb módja.*

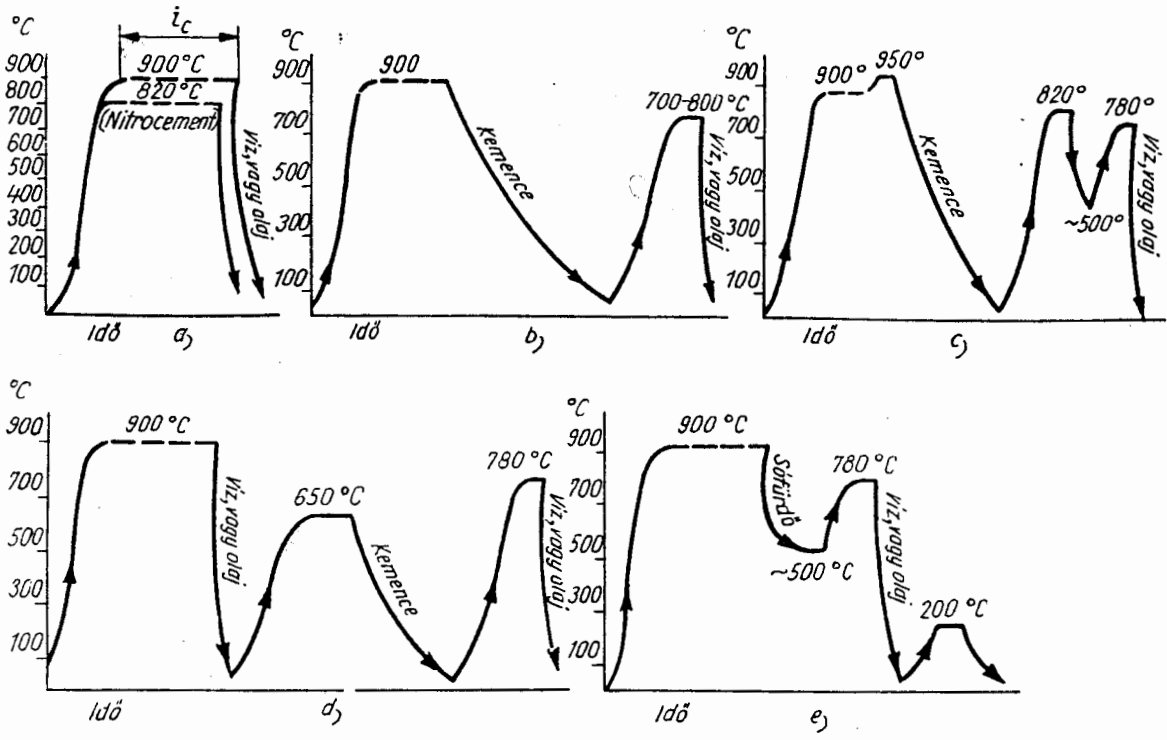
Ez az eljárás, amelyet *N. A. Minkevics* és *V. I. Proszvirin* dolgozott ki, lényegileg nitrálással javított gázcementálás. Eljárása azonos a gázcementáláséval azzal a különbséggel, hogy a cementáló gázkeverékhez vagy kőolajpárlathoz térfogatuk 20—23%-át kitevő mennyiségű ammóniát kevernek. A nitrocementálás hőmérséklete a cementáló eljárások között a legkisebb:  $820\text{—}830^{\circ}\text{C}$ . Az elérhető rétegnövekedés: 0,125 mm/óra.

*A nitrocementális nagy előnye, hogy aránylag kis hőmérsékletről a cementált tárgyak közvetlenül edzhetők anélkül, hogy kérgük túlhevített lenne.* Előnye még, hogy a kéregben nitridek is keletkeznek, tehát kopásállósága növekszik. Az ammónia gátolja a koromlerakódást. Gazdaságossága is a legjobb.

### 13.4. A cementálást követő hőkezelések

A cementálást követő hőkezelések célja egyrészt a kéreg keményítése, másrészt a mag szívósságának fokozása. Néhány jellegzetes hőkezelő módszer elvi hőfok—idő diagramját a 235. ábra szemlélteti.

Legegyszerűbb, legolcsóbb, de minőségi tekintetben legkevésbé igényes a 235a módszer, amely szerint a cementált darabokat a cementálás hőmérsékletéről közvetlenül edzik. A kéreg minden esetben, 0,15—0,20% C-tartalmú acélnál hosszabb dúsítási időtartam után a mag is durvaszemcsés, kis szívósságú. — A b) módszernél a lassan hűtött, cementált darabok megmunkálhatók és utána a kéreg C-tartalmának megfelelő legjobb hőmérsékletről edzik. Itt a mag nem finomodik. — A c) módszer azt az esetet mutatja, amikor a cementálás után a karbidháló eloszlására



235. ábra. A betétedzés hőkezelési módszerei. a) edzés a cementálás hőmérsékletéről; b) kéregre való edzés; c) magfűtő kettős edzés; d) kettős edzés közbenső lágyítással; e) kettős edzés közbenső lágyítás nélkül

diffúziós izzítást iktatnak. A kéreg és mag ilyenkor egyaránt durvaszemcsés lesz. Ha a szükséges megmunkálásokat a cementálás után elvégezték, amit a lassú hűlés tesz lehetővé, a magot és kérget kettős edzéssel finomítják. Az első edzést a mag acélanyagának  $A_{c_3} + 50^\circ\text{C}$  hőmérsékletéről az  $A_{r_1}$ -nek kb. megfelelő  $500^\circ\text{C}$ -os sófürdőben végzik, ami az elhúzódat csökkenti és hevítést takarít meg, ha közvetlenül a kéreg optimális edzési hőmérsékletére való hevítés követi. Ilyen módszer mellett a mag és kéreg szemcséje egyaránt finomodik. Ez az eljárás a meleggel takarékoskodó kettős edzés, amelyet csak megfelelő ötvözött betétedzésű acéloknál lehet alkalmazni.

A 235d ábra a közbenső lágyítással végzett kettős edzést mutatja. — Az e) ábra a sófürdős magedzést követő optimális kéregedzés esete. Ez is csak ötvözött betétedzésű acéloknál alkalmazható.

Mint minden folyamatos hűtésű martensites edzésnél, a befejező hőkezelő művelet itt is mindig a  $150\text{—}200^\circ\text{C}$ -on  $1/2\text{—}1$  óráig tartó megeresztés.

A 235a ábrán  $t_c$ -vel jelölt szakasz a cementálás időtartamát jelzi. Ezt előre úgy lehet becsülni, hogy az előírt kéregvastagság mm-számát osztjuk a cementáló közeg már ismert behatolási sebességével. Ha ez nem ismert, akkor 0,125-del számolva kapják a cementálás idejét órákban. Ellenőrzésül 2—3 próbarudat helyeznek be a cementáló dobozba úgy, hogy a fedél furatain a végük kinyúljon. A becsült

idő 80%-ának elteltével kihúzzák az elsőt, megedzik, eltörik, és a jól látható kéreg vastagságából pontosan megállapítható az adott körülmények közötti rétegnövekedés sebessége, amiből a dúsítás pontos idejét számíthatják.

## 13.5. Nitrálás

A nitrálás lényegében ötvöző hőkezelés, mert szabad, aktív nitrogén atomoknak az acél felületi rétegébe való diffundáltatása útján az acél egyes alkotóival nitrideket alkot. Az acél kérgének ilyen ötvözése az acél többféle tulajdonságára hat: keménységét, kifáradási határát és korrózióállóságát növeli.

Ebbe a fejezetbe a nitrálás hőkezelési eljárásának az a fajtája tartozik, amely főként a felületi keménységet fokozza, mégpedig a legnagyobb értékre. Ezt a nitrálást a másik két célt szolgáló ún. lágy nitrálástól való megkülönböztetésül *kemény nitrálásnak* nevezik.

Az acélba diffundált nitrogén a Fe-mal a felületen  $\varepsilon$ -fázisnak nevezett  $\text{Fe}_2\text{N}$ , beljebb  $\gamma'$ -fázisnak nevezett  $\text{Fe}_4\text{N}$  fémes vegyületet képez. Ezek a vas-nitrdek azonban nem adnák meg a szükséges keménységet, ezért az ún. nitrálható acélokat stabilis nitrdeket képző ötvözőkkel ötvözik. Ezek elsősorban a Cr és Al, amelyek ezért néha együtt szerepelnek a legkisebb magzilárdságú nitrálható acéloknak. A magzilárdság és rúdátmérő növelése további ötvözőket kíván. Ezek a Mo és V, amelyek a nitrdeképzés elemei és a Ni, amelyet az átédződés fokozására adagolnak a nitrálható acélba. Emellett a Mo-ötvözés főleg a megeresztési ridegedés elkerülésére előnyös, mert éppen a keménynitrálás hőmérsékletkörében fenyeget ennek veszélye. A nitrálás a kéreg keménységét biztosítja. A mag szívósságát előzetes nemesítéssel biztosítják. Ez megszabja a nitrálható acél C-tartalmát: C = 0,25—0,39% (MSZ 17779—53).

A nitrálást mindig nemesítés előzi meg. Mivel a nemesítés hőkezelése során a felületi rétegből a nitrdek képzéséhez szükséges elemek, az Al és V, melyeknek nagy a vegyrokonsága az oxigénhez, könnyen kiégnek, ezért a nemesítést mindig megfelelő (5 mm) ráhagyással nagyolt állapotban kell végezni. Nemesítés után a munkadarabot teljesen készre munkálják, tehát még a köszörülést is elvégzik. A nitrálható felületeket 0,02 mm-rel kisebb méretre köszörülik, mert a nitrogénfelvétel után kb. ennyit dagad az acéltárgy.

A gyakorlatban legáltalánosabban használt ammóniás gáznitrálás előtt a tárgyat zsírtalanítani kell, hogy a N-atomok tiszta fémes felületre adszorbeálódhassanak. Ezután a tárgyakat zsírmentes kesztyűs kézzel a nitráló dobozba rakják. Ennek anyaga austenites krómnikkel acél, mert abba a N nem diffundál be. A lágyacél dobozok hosszabb használat után átnitrálódnak és törékennyé válnak. A dobozba három cső nyúlik be. A felsőn ammóniát,  $\text{NH}_3$  gázt vezetnek be, az alsón az elhasznált gázt vezetik el. A középső zárt fenekű cső a hőmérséklet ellenőrzésére és szabályozására szolgáló pirométer elhelyezésére való. A munkadarabokat úgy kell a

dobozba rakni, hogy nitrálendő felületüket az áramló gáz állandóan érje. Kis darabok réteges berakásánál austenites Cr-Ni-acél huzalból készült szita- vagy rostalemezt tesznek a rétegek közé.

A nitráláshoz az 500 °C-on felbomló ammónia aktív nitrogénjét hasznosítják. A bomlás reakciója:



A kemény nitrálás hőmérsékletének a Fe—N egyensúlyi diagramban (248. ábra) az Fe—Fe<sub>3</sub>C diagramhoz hasonló eutektoid bomlási hőmérséklete, 590 °C alatt kell lennie. A gyakorlatban 500—550 °C között végzik a nitrálást pl. úgy, hogy a hőmérsékletet a nitráló dobozba helyezett pirométer helyén 510 ± 10 °C-ra szabályozzák. Ekkor a doboz belsejében ennél nagyobb a hőmérséklet, mert a meleg a villamos ellenállásfűtésű kamrás kemence falairól áramlik a doboz közepe, — tehát a pirométer — felé. A doboz hevítési és 100—200 °C-ig való hűlési szakaszában a tárgyak oxidációtól való védelme céljából az ammónia gázt a dobozon át áramoltatni kell.

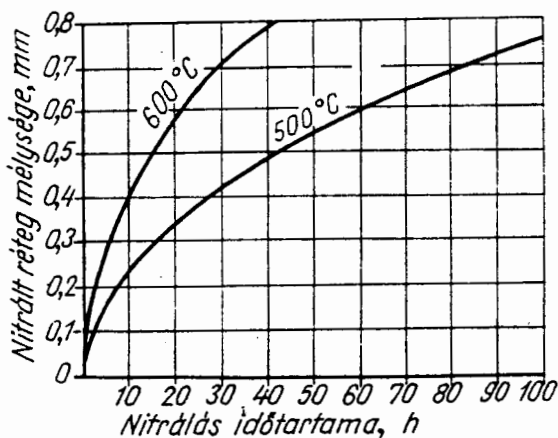
A nitrált kéreg vastagságának növekedését a nitrálás időtartamával a 236. ábra mutatja. Az ábrán látható, hogy az 500 °C-on végzett kemény nitrálásnál a N-atomok behatolási sebessége tizedannyi sincs, mint a 900 °C-on végzett cementálásnál a C-atomoké. Ennek magyarázata a két hőkezelés hőmérsékletében és annak megfelelő diffúziós tényező különbségében rejlik. A diffúziós tényező ugyanis a hőmérséklettel exponenciálisan nő. A 600 °C-on végzett lágyabb kérget adó nitrálásnál a diffúziós tényező megnövekedése miatt a behatolási sebesség az 500 °C-on végzethez képest kb. 60%-kal nagyobb.

Jól mutatja a 236. ábra a diffúzióval való lelassulását is. Az első 10 órában 0,25 mm nitrált kéreg keletkezik, az ezt követő 0,25 mm-hez már háromszor annyi, a harmadik 0,25 mm-hez hatszor annyi idő kell. A gyakorlatban leggyakoribb a 48 órás nitrálás, amellyel kb. 0,5 mm kérget lehet elérni, de 96 óránál, 4 napnál tovább sosem szoktak nitrálni.

A nitrálás jellegzetes hatásai:

1. A nitrált kéreg keménysége 30%-kal nagyobb a betétben edzett kéregéhez képest (HV = 1150 kp/mm<sup>2</sup> a HV = 900 kp/mm<sup>2</sup>-rel szemben). Ezért nagyobb a kopásállása.

2. A nitrált kéreg keménysége nem edzési, martensites keménység, hanem a fémes vegyület, a nitrid természetes keménysége, amely legalább a nitrálás hőmérsékletéig, 500 °C-ig állandó. Ez szabja meg egyik fontos alkalmazási területét: a nagy hő-



236. ábra. A nitrált kéreg vastagságának növekedése a nitrálás időtartamával



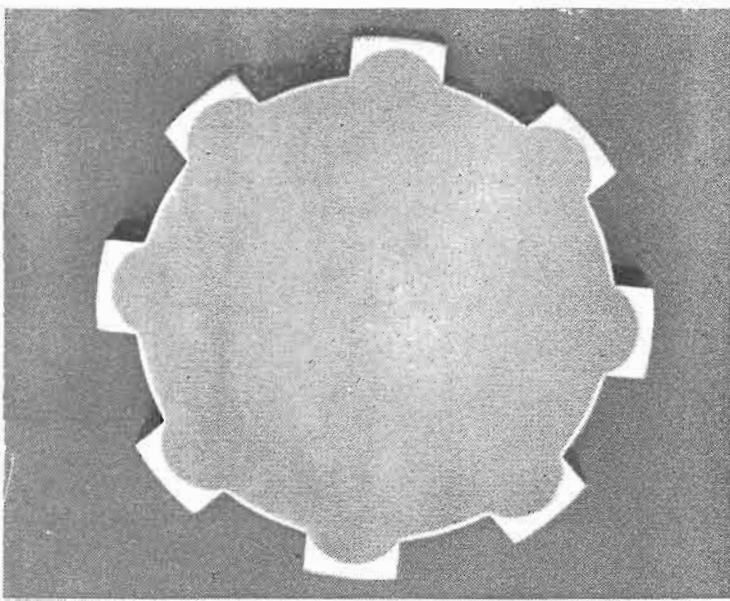
mérsékleten, nagy koptató hatásnak kitett alkatrészek, pl. kompresszor dugattyúrúd meleg kopásállását kell keménynitrálással biztosítani.

3. A nitrálást gyakorlatilag elhúzóadásmentesen lehet végezni. Számítani kell azonban azzal a ténnyel, hogy bár a nitrált tárgy felülete feszültségmentes, de a kéreg belső harmadában nyomófeszültségek keletkeznek, melyek a  $30 - 40 \text{ kp/mm}^2$  nagyságot is elérhetik.

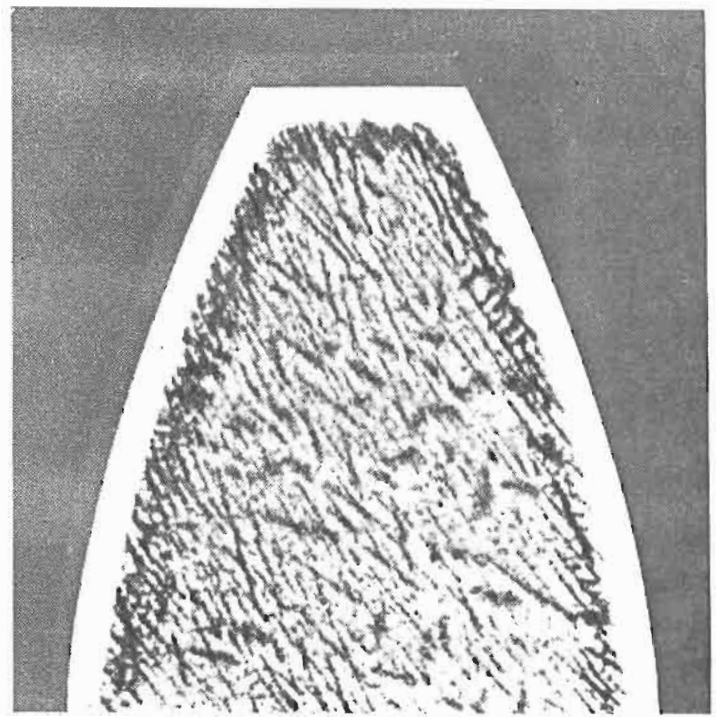
4. A nitrált kéreg növeli az ismételt igénybevételek okozta törések feszültség-határát, az ún. kifáradási határt, de csak addig, amíg nem keletkezik rajta hajszáll-repedés. Utóbbi a kifáradási határt erősen csökkenti a nem nitrált állapothoz képest.

5. A nitrált kéreg korrózióvédelmet is nyújt.

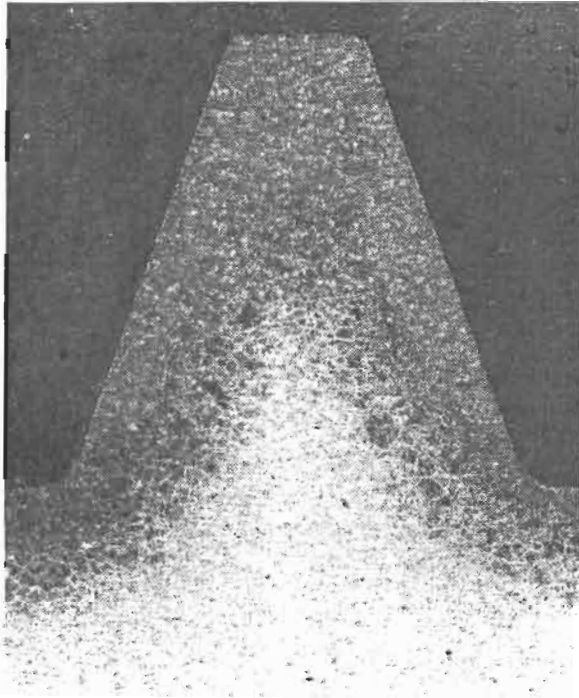
A két utolsó tulajdonságáról a lágynitrálás tárgyalásánál még lesz szó.



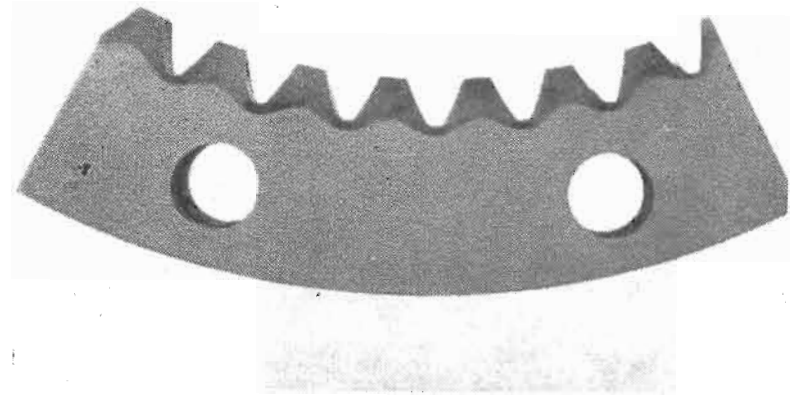
329. ábra. Indukciós edzéssel kérgesített bordás tengely keresztmetszete. (Alk.  $\text{HNO}_3$ ,  $1,5\times$ )



365. ábra. Nitridált fogaskerék metszete, *Oberhoffer*-féle maratószerrel maratva ( $10\times$ )



356. ábra. Túlcementált fogaskerék metszete. (kb.  $2\times$ )



330. ábra. Indukciós edzéssel kérgesített fogasív. (Alk.  $\text{HNO}_3$ ,  $1\times$ )

357. ábra. Cementálási repedések kúpkerékben. (kb.  $1/2\times$ )

